



Marko Stång

NAUHAVALSSAAMON ASKELPALKKIUUNIEN ENERGIATEHOKAS AJOMALLI

NAUHAVALSSAAMON ASKELPALKKIUNNIEN ENERGIATEHOKAS AJOMALLI

Marko Stång
Opinnäytetyö
Kevät 2013
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka, energiatekniikka

Tekijä: Marko Stång

Opinnäytetyön nimi: Nauhavalssaamon askelpalkkiuunien energiatehokas
ajomalli

Työn ohjaajat: Anne Seppänen, Ruukki Metals Oy ja Jukka Kinnula, OAMK

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2013

Sivumäärä: 66+8 liitettä

Opinnäytetyön ensisijaisena tavoitteena oli selvittää askelpalkkiuunien purkaustahdin muutoksen vaikutus kaasujen kulutuksiin. Erityishuomiota kiinnitettiin ylikapasiteettitilanteisiin. Lisäksi työssä tutkittiin, mitkä tekijät vaikuttavat nestekaasun nousuun ja kuinka näitä nestekaasupiikkejä voidaan vähentää. Tavoitteena oli käyttää koksikaasu mahdollisimman hyvin.

Opinnäytetyöstä pyrittiin saamaan pohjaa jatkotoimenpiteille energiatehokkuuden parantamiseen. Energiatehokkuutta parannettiin tiiviissä yhteistyössä voimalaitoksen kanssa.

Askelpalkkiuunien energiatehokkuuteen vaikuttavat monet tekijät. Näistä tärkeimpänä voidaan pitää levyvalssaamon läpityöntöuunien koksikaasun kulutusta ja voimalaitoksen koksikaasun polttoa. Lisäksi linjahäiriöiden vaikutus on keskeinen tekijä kaasujen kulutuksissa. Häiriöstä toipuminen aiheuttaa aina nestekaasun nousua, joten selvitettiin, mitkä tekijät sen aiheuttavat. Muita vaikuttavia tekijöitä ovat aihoiden panostuslämpötila, voimalaitoksen antama koksikaasun ohjearvo nauhavalssaamolle ja koksikaasupolton priorisointijärjestys. Kuumanauhavalssaamo toimii koksikaasun viimeisenä käyttäjänä, joten se vaikeutti nestekaasun ja koksikaasun optimointia askelpalkkiuuneilla.

Työn tuloksina huomattiin, että purkaustahdin muutoksella säästetään nestekaasun kulutuksissa. Lisäksi lisäämällä yhteistyötä voimalaitoksen kanssa voidaan hyvin aikaansaada hyötyjä niin askelpalkkiuuneille kuin voimalaitoksellekin.

Asiasanat: askelpalkkiuuni, energiatehokkuus, koksikaasu, nestekaasu, purkaustahti

ALKULAUSE

Opinnäytetyö tehtiin Ruukki Metals Oy:n Raahen tehtaassa kuumanauhavalssaamon tuotantojaokselle. Askelpalkkiuunien energiatehokasta ajotapaa ei ole aiemmin tutkittu, joten opinnäytetyö osoittautui hyvin mielenkiintoiseksi ja haastavaksi. Energiatehokkuuden kilpailukyvyyn säilyttäminen on nykyaikana tärkeä osa-alue, joten toivon, että työstä on apua jatkotoimenpiteisiin askelpalkkiuunien energiatehokkuuden jatkuvaan parantamiseen.

Ruukilta työnohjaajana toimi kehitysinsinööri Anne Seppänen ja työn valvojana kuumanauhavalssaamon tuotantopäällikkö Harri Kaisto. Ohjaavana opettajana toimi OAMK:sta lehtori Jukka Kinnula. Lisäksi työssä suurena apuna toimivat voimalaitoksen kehitysinsinööri Kimmo Kinnunen ja uunioperaattori Vesa Siermala. Haluan kiittää heitä kaikkia työn monipuolisesta ohjaamisesta ja tukemisesta.

Oulussa 18.2.2013

Marko Stång

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ALKULAUSE	4
SISÄLLYS	5
MERKKIEN SELITYKSET TAI SANASTO	7
1 JOHDANTO	8
2 RUUKKI METALS	9
2.1 Raahan terästehdas	9
2.2 Kuumanauhavalssaus	10
2.3 Askelpalkkiuunit yleisesti	17
3 ASKELPALKKIUUNIEN NYKYTILANNE	23
3.1 Valssausjakson suunnittelu	24
3.2 Uunin lämmitys	25
3.3 Lämpötilan seuranta	26
3.4 Askelpalkkiuunien kuumennuksen optimointi	26
3.4.1 Optimoinnin tarpeet	27
3.4.2 Optimoinnin ohjaus	28
3.5 Uunien kuormitus	31
3.6 Askellustahti	32
4 LÄMPÖTILOJEN HALLINTA	34
4.1 Uunista mitattavat suureet	34
4.1.1 Happipitoisuuden säätö	34
4.1.2 Paineen säätö	34
4.1.3 Kaasumäärä	35
4.1.4 Lämpötila	35
4.2 Asetusarvojen laskenta	36
4.2.1 Lämmityskäyrä	36
4.2.2 Säätö	36
4.2.3 Kuumennuksen painotusalueet	37
4.3 Lämpötilojen hallinta häiriöiden aikana	37
5 KAASUJEN KÄYTTÖ	38
5.1 Nestekaasun käyttö	42

5.2 Koksikaasun käyttö	45
5.3 Vyöhyke kohtaiset kulutukset uuneilla	48
5.4 Kaasujen käyttöjen vertailu	49
6 ASKELPALKKIUUNIEN AJO	50
6.1 Tuotannolliset tekijät	50
6.1.1 Häiriöt	50
6.1.2 Suorakarkaistavat kelat	51
6.1.3 Jäähdyteltävät esinauhat	51
6.1.4 Ahiolaatu ja tavoitelämpötila	51
6.2 Kuormien vaihtelu	52
6.3 Ylikapasiteettimalli	53
6.4 AP-uunien energiatehokkuuden parantaminen	56
6.5 Ajomallitesti	59
6.6 Vuorojen väliset vertailut	60
6.7 Jatkotoimenpiteet	60
7 YHTEENVETO	62
LÄHTEET	64
LIITTEET	66

MERKKIEN SELITYKSET TAI SANASTO

Aihio	Teräksen valmistuksen lopputuote, joka panostetaan askelpalkkiuuniin ja valssataan kelaksi.
AP4, AP5	Askelpalkkiuuni 4 ja askelpalkkiuuni 5.
APU	Askelpalkkiuuni, jossa aihiot lämmitetään tavoitelämpötilaan.
Cog	Coke oven gas, suomeksi koksikaasu.
Fakkeli	Ylijäämäkaasujen poistopaikka, joka sijaitsee masuunilla.
HOS	Heating Optimisation System, suomeksi kuumennuksen optimointijärjestelmä.
Huppu	Lämpövarasto, johon voidaan lastata kuumia aihioita hidastamaan aihion jäähtymistä.
Jakso	Valssausjakso, joka sisältää tietyn määrän valssattavia aihioita ja jonka tuotannonsuunnittelu ohjelmoi.
JäHa	Jäähdytyshalli, johon aihiot lastataan ennen uuniin panostamista.
Lpg	Liquefied petroleum gas, suomeksi nestekaasu.
Nava	Kuumanauhavalssaamo, jossa aihiot valssataan nauhaksi.
Purkaustahti	Aika kahden aihion välillä, jolloin aihio pudotetaan uunista purkausradalle.
Vtrin	Raahan terästehtaan prosessikaasujen seurantaohjelma.
Ylikapasiteetti	Tilanne, jossa tuotantokapasiteetti ylittää kysynnän.

1 JOHDANTO

Opinnäytetyö on tehty Ruukki Metals Oy:n Raahen tehtaalle nauhavalssaamon tuotantojaokselle. Työn tavoitteena oli tutkia askelpalkkiuunien 4 ja 5 energiatehokasta ajomallia. Toisin sanoen tutkittiin keinoja energian säästämiseksi ylikapasiteettitilanteissa ja APU:n optimaalista ajoa linjan häiriöiden aikana. Lisäksi työssä tutkitaan koksikaasun ja nestekaasun käyttöä molemmissa uuneissa. Tavoitteena olisi, että uuneissa voitaisiin mahdollisimman hyvin hyödyntää koksikaasun tarjontaa, jolloin aikaansaadaan nestekaasun minimoiminen (liite 1).

Askelpalkkiuuneista pudotetaan aihiot purkausrullaradalle tietyn väliajoin, jota kutsutaan purkaustahdiksi. Purkaustahtia muutellaan riippuen tuotteen kysynnästä, millä pyritään tasaiseen tuotantoon kuumanauhavalssaamalla. Työssä on tarkoitus selvittää purkaustahdin muutoksen vaikutus lähinnä nestekaasun kulutukseen.

Suurena haasteena energiatehokkuuden kannalta ovat linjahäiriöt. Linjahäiriöiden tiedotuksen pitää toimia hyvin voimalaitokselle ja askelpalkkiuuneille. Tiedotuksen hoitaa vuoromestari.

Uunit ovat täysin automatisoituja, ja aihiot kuumennetaan tavoitelämpötiloihinsa uunioptimoinnin laskennan ohjaamana ja mahdollisimman myöhäisessä vaiheessa. Tutkinta painotettiin mahdollisiin tekijöihin uuneissa, joilla aiheutetaan energiakäytön kasvua.

2 RUUKKI METALS

Rautaruukki Oyj on vuonna 1960 perustettu metalliteollisuuden yritys, joka toimittaa metalliin perustuvia komponentteja, järjestelmiä ja kokonaistoimituksia konepajateollisuudelle ja rakentamiseen. Vuodesta 2004 on käytetty markkinointinimeä Ruukki. Yhtiöllä on 11 700 työntekijää 27 maassa. Ruukki on kansainvälisesti toimiva erikoisterästuotteiden valmistaja ja alansa teknologiajohtaja. (1.)

Toukokuussa 2011 Rautaruukki Oyj yhtiöitettiin kolmeen eri liiketoimintalueeseen, jotka ovat rakennuspuolen Ruukki Construction, järjestelmiä tarjoava Ruukki Engineering ja teräsliiketoiminnasta vastaava Ruukki Metals. Teräsliiketoiminnan vastuulla ovat terästuotteiden valmistus, myynti sekä niihin liittyvät esikäsittely-, logistiikka- ja varastointipalvelut. Teräsliiketoiminta painottaa kustannustehokkuutta ja korkeaa kapasiteetin käyttöastetta. (1.)

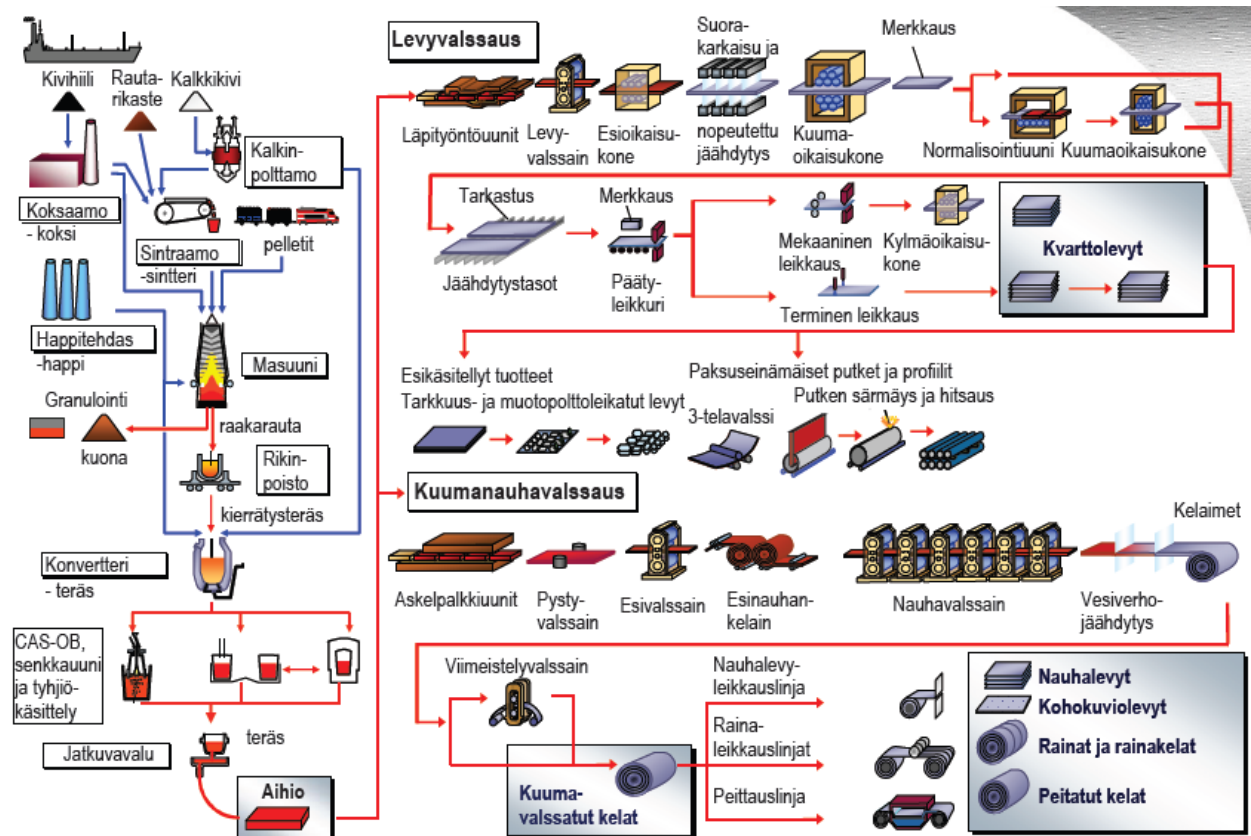
Ruukki Metalsilla on yhteensä noin 5 300 työntekijää 16 maassa, ja yritys pyrkii jatkuvasti kehittämään prosessejaan ja parantamaan asiakaspalvelua, toimitus-täsmällisyyttä sekä tuotteidensa ja palvelunsa laatua koko toimitusketjussa. Ruukki Metalsin asiakkaita ovat kuljetusväline-, rakennus-, konepaja- ja elektro-niikkateollisuuden yhtiöt sekä teräksen jakelijat. (1.)

Ruukki tavoittelee maailmanluokan osaamista tuotekehitysprojekteissaan, joiden erityisenä painopisteenä on energiatehokkuus. Lisäksi yritys pyrkii hyödyntämään uusinta teknologiaa ja tekee kiinteästi yhteistyötä muun muassa yliopistojen ja tutkimuslaitosten kanssa. (1.)

2.1 Raahen terästehdas

Raahen terästehdas on Ruukin suurin tuotantolaitos, ja sinne on keskitetty konsernin terästuotanto. Teräksen valmistus on energiataloudellisesti epäedullisin prosessi. Matkalla rautamalmista valmiiksi terästuotteeksi käytettävät materiaalit kuumennetaan ja jäähdytetään useita kertoja. Prosessiin johdetaan eri vaiheissa paljon energiaa, joka vapautuu suurelta osin hukka-energiaksi. Hukkaenergia pyritään hyödyntämään prosessin muissa vaiheissa

tai hyödynnetään esim. kaukolämmöksi. Nauhavalssaamon askelpalkkiuuneissa palkkivesikierron lämpö otetaan talteen tehtaan höyryverkkoon, jossa voimalaitokselle saadaan n. 30 MW teho hyödynnettyä. Tehtaan päätuotteita ovat kuumavalssatut nauhat ja levyt, joita valmistetaan kuvan 1 mukaisessa prosessissa. (1, 6.)



KUVA 1. Raahen tehtaan prosessikaavio (2, s. 2)

2.2 Kuumanauhavalssaus

Raahen terästehtaalla terässulattolalta jatkuvavalukoneesta tulevat aihiot, joiden maksimipituutena on 12 m, panostetaan valssausjakson mukaisesti kahteen askelpalkkiuuniin vuorotellen. Jos kahden peräkkäisen panostettavan aihion pituus on alle 5,8 m, voidaan uuniin panostaa kaksi aihiota rinnan. Panostuksen jälkeen aihiot lämmitetään uuneissa noin 1 220 °C - 1 290 °C:n lämpötilaan. Kun aihiolle saavutetaan sille vaadittu lämpötila, aihio on valmis uloslastattavaksi uunista purkausrullaradalle (kuva 2). Aihion kuumennuksessa muodostunut hilse poistetaan hilsepesurilla, jonka pesupaine on noin 300 bar.

Hilsepesureita on kaksi, joista ensimmäinen on heti uunien jälkeen ja toinen sijaitsee nauhavalssaimen edessä. (3, s. 6 - 8.)



KUVA 2. Aihion ulosotto uunista

Aihio valssataan esivalssaimella 20 - 40 mm:n paksuiseksi esinauhaksi seitsemällä edestakaisella pistolla, jolloin esivalssausprosessia voidaan kutsua puolijatkuvaksi (kuva 3). Lisäksi esivalssaimella on oma hilsepesu, jota käytetään joka toisella pistolla. Esinauhan tarkka paksuus riippuu halutun loppu-tuotteen paksuudesta. Esinauhalla on pituutta tässä vaiheessa 40 - 125 metriä tilauksen mukaan. Esivalssaimen yhteydessä olevalla pystyvalssaimella esinauha valssataan haluttuun leveyteen. Maksimileveys on 1 860 mm. Esi- ja pystyvalssaimen maksiminopeus on 5,5 m/s. (3, s. 6 - 8.)



KUVA 3. Esivalssain

Nauhan mekaaniset ominaisuudet määräytyvät kemiallisen koostumuksen lisäksi valssauksen loppulämpötilan ja kelauslämpötilan perusteella.

Valssaimen säätöjärjestelmän tärkeimpiä tehtäviä on huolehtia, että nämä loppulämpötilat ovat tarkasti suunnitelluissa rajoissa. (3, s. 6 - 8.)

Esivalssaimen jälkeen esinauha menee tuurnattomaan esinauhakelaimeen (kuva 4). Tämän jälkeen esinauhakela ajetaan päätyleikkurille, jossa katkaistaan sekä nauhan alku- että loppupää, jotta saadaan nauhanpää pysymään suorina valssauksessa. Päätyleikkurin yhteydessä on toinen hilsepesuri. (3, s. 6 - 8.)



KUVA 4. Esinauhakelain

Täysin automatisoidussa nauhavalssaimessa esinauha ohennetaan kuudella valssituolilla haluttuun loppupaksuuteen, poikittaissuuntaiseen paksuusprofiiliin ja tasomaiseksi. Loppupaksuus on välillä 1,5 - 20 millimetriä. Kolmella ensimmäisellä valssituolilla määrätään haluttu nauhan profiili (kuva 5), ja tässä vaiheessa valssauksen materiaalin siirtyminen valssiraossa sivusuunnassa on mahdollista. Jotta tasomaisuusvirheet pysyisivät pieninä, pyritään profiili pitämään vakiona kolmella viimeisellä valssituolilla. Nauhavalssaimen jälkeen sijaitsevaan paksuus-profiilimittarin mittaustulosten perusteella säädetään valssien raon asetuksia siten, että päästään haluttuun lopputulokseen. (3, s. 6 - 8.)



KUVA 5. Valssituolit 1, 2 ja 3

Nauha lähtee valssaimesta nopeudella 2,5 - 13,5 m/s, ja se kulkee jäähdytysvyöhykkeen läpi (kuva 6). Varsinainen jäähdytys tapahtuu laminaarisella vesiverhojäähdytyksellä ja hienosäätö tapahtuu laminaariputkilla. Vesiverhoilla nauha pystytään jäähdyttämään nopeasti kelauslämpötilaan eli noin +600 °C:seen. Tarpeen vaatiessa nauha kuitenkin voidaan jäähdyttää jopa huoneenlämpötilaan. Näitä erikoistuotteita kutsutaan suorasammutetuiksi keloiksi. Jäähdytysvedet kierrätetään takaisin valssaamon yhteydessä olevalle vedenkäsittelylaitokselle. (3, s. 6 - 8.)



KUVA 6. Jäähdytysrullarata

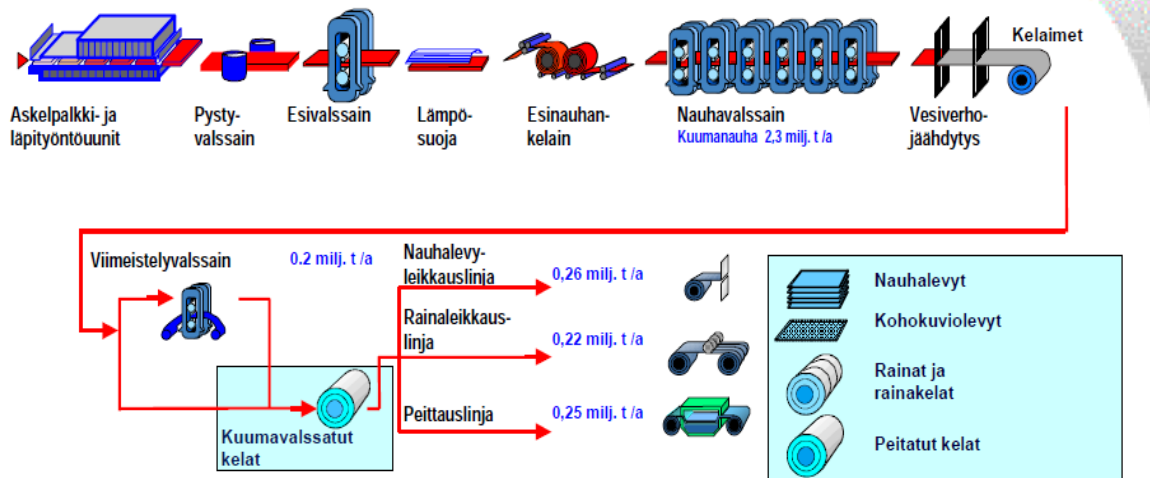
Jäähdytyksen jälkeen nauha ajetaan rullaratoja pitkin kelaimele, jossa se kelataan aihion alkupainosta riippuen maksimissaan 30 tonnin painoiseksi kelaksi (kuva 7). (3, s. 6 - 8.)



KUVA 7. Kelain

Kelaimelta kela menee kelakuljettimelle, jossa tapahtuvat tarkastus, sidonta, punnitus ja maalimerkkaus. Tämän jälkeen kela siirretään kuljettimilta kelavarastoon jäähtymään ja odottamaan jatkotoimenpiteitä. Kuvassa 8 on esitetty kuumanauhavalssausprosessi. (3, s. 6 - 8.)

Kuumanauhavalssaus -prosessi



KUVA 8. Kuumanauhavalssauksen prosessikaavio (3, s. 8)

2.3 Askelpalkkiuunit yleisesti

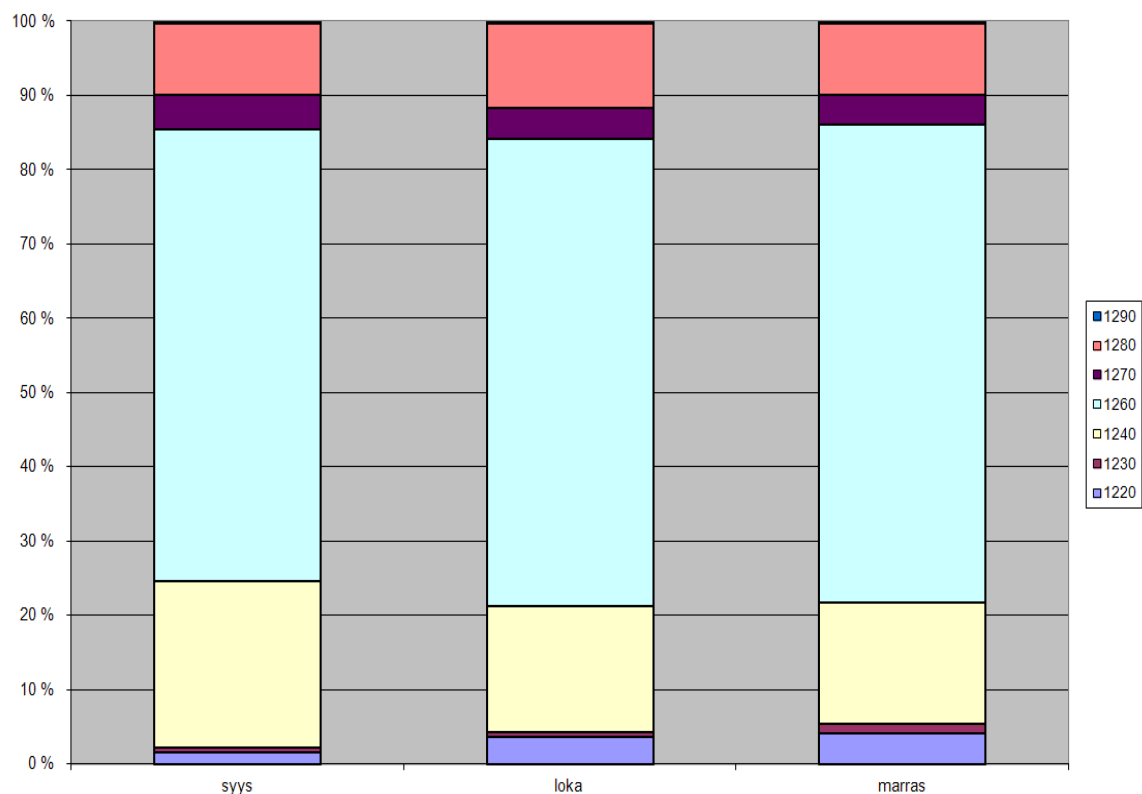
Nauhavalssaamolla on käytössä kaksi askelpalkkiuunia, jotka ovat AP4 ja AP5. Molempien uunien valmistaja on Stein Heurtey, Ranska. AP4 valmistui vuonna 1997 ja AP5 vuonna 2005. Polttoaineina uuneissa käytetään koksikaasua ja nestekaasua. Uunien kuumennustehoina on 134 MW AP4:lle ja 138 MW AP5:lle. Yhden uunin kapasiteetti täydellä valssaustahdilla on 300 t/h. Tällaiseen tuntituotantoon vaaditaan kuitenkin uunilliset 12 m pitkiä aihioita mitoiltaan 1 200 mm * 210 mm ja tavoitelämpötila 1 220°C sekä 3,5 minuutin purkaustahti.

Molempien uunien ollessa ajossa yhden uunin kapasiteetti on 190 t/h, jolloin päästään n. 380 t/h tuntituotantoon. Valssausjaksossa keskimääräinen aihio-paino on noin 20 tonnia ja korkein kuumennuslämpötila on 1 290 °C. Molempien uunien sisäleveys on 12,9 m, jolloin maksimi aihionpituutena voidaan käyttää 12 m. APU:n suorituskykytavoitteet on esitetty kuvassa 9. (4, s. 2 - 3.)

	Referenssiaihio- testi AP5	Referenssi jaksotesti HOS (sama tuotantotahti AP4 ja AP5)
Kuumennuskapasiteetti	300 t/h	190 t/h
Lämpötilatarkkuus pudotuslämpötilatavoitteelle 1250 °C, max	±10 °C loggeritesti	±15 °C
Paksuussuuntainen lämpötilaero aihiossa, max	20 °C loggeritesti	≤10 °C 90 % aihioista ≤20 °C kaikki aihiot, HOS:n laskemat!
Kiskonjäljet, max	12 °C	12 °C
Keulapiikkilämpötila, max	17,5 °C	17,5 °C
Pitkittäinen lämpötilaero aihiossa, max	35 °C	35 °C
Ominaisenergiankulutus	1245 MJ/t	1310 MJ/t
Hilsetappiot	0,7 %	-
NOx-päästöt	105 mg/MJ	-

KUVA 9. Askelpalkkiuunien suorituskykytavoitteet (5, s. 11)

Aihioille on asetettu omat pudotuslämpötilatavoitteet, jotka sijoittuvat välille 1 220 - 1 290 °C. Kuvassa 10 on esitetty nykyjakauma kuumennettavista aihioista. Aihio viipyy uunissa keskimäärin noin 160 minuuttia, mutta täydellä valssaustahdilla molempien uunien ollessa ajossa kuumennusaikatavoite on 140 min. Uunien optimaalista ajoa vaikeuttavat vaihtelut ahiomitoissa ja kuumennustavoitteissa. Uunien tehontarve vaihtelee. Lisäksi koksikaasun ohjearvo nauhavalssaamolle vaihtelee suuresti, jolloin vähäisen koksikaasutarjonnan vuoksi joudutaan polttamaan tilalla nestekaasua. (4, s. 6.)



KUVA 10. Nykyjakauma kuumennettavista aihioista vuonna 2012 syys-marraskuun välillä (18)

Uunin sisätilat on jaettu viiteen eri lämmitysvyöhykkeeseen, joilla pyritään takaamaan aihoiden tasainen lämmitys. Vyöhykkeet ovat

- rekuperatiivinen vyöhyke
- esikuumennus vyöhyke
- kuumennusvyöhyke 1
- kuumennusvyöhyke 2
- tasausvyöhyke.

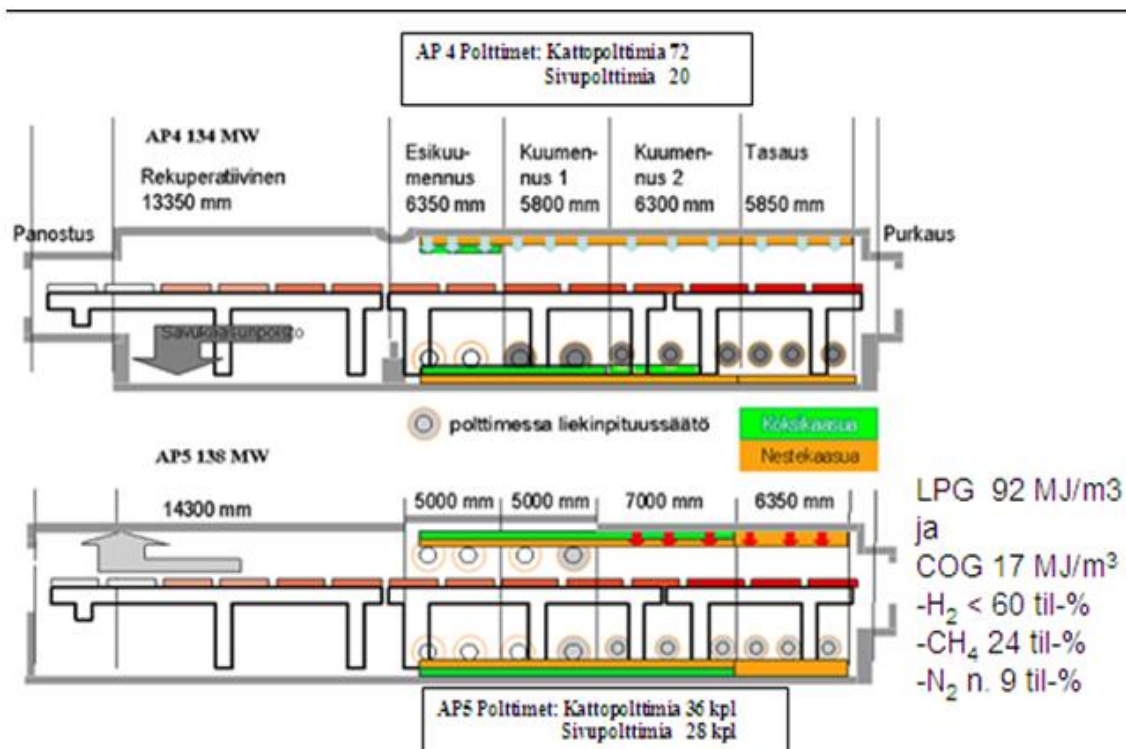
Taulukossa 1 on esitetty lämpötiloille vyöhykkeittäin maksimiasetusarvot, jotka ovat voimassa tällä hetkellä. AP5-uunin alkupään rajatuilla lämpötiloilla suojellaan rekuperaattoria ylikuumenemiselta. AP4-uunissa tehot ovat painottuneet uunin alkupäähän.

TAULUKKO 1. Maksimiasetusarvot vyöhykkeittäin; lukuarvot lämpötiloina (°C)
(8)

		AP4, HOS	AP5, HOS
esikuumennus	ylä	1190	1150
	ala	1190	1150
kuumennus 1	ylä	1320	1290
	ala	1320	1290
kuumennus 2	ylä	1330	1330
	ala	1330	1330
tasaus	ylä	1300	1300
	ala	1300	1300

Uunit ovat toiminnaltaan samanlaiset. Eroja ovat

1. AP4:n kuumennusvyöhyke, jossa kuumennusvyöhykkeillä 1 ja 2 ylä-kuumennuksella käytetään vain nestekaasua
2. AP4: kuumennus 2:n alavyöhykkeellä on vain nestekaasua. Molempien uunien tasausvyöhykkeellä ylä- sekä alavyöhykkeellä käytetään nestekaasua. Vyöhykkeet ja polttimet on esitetty kuvassa 11.

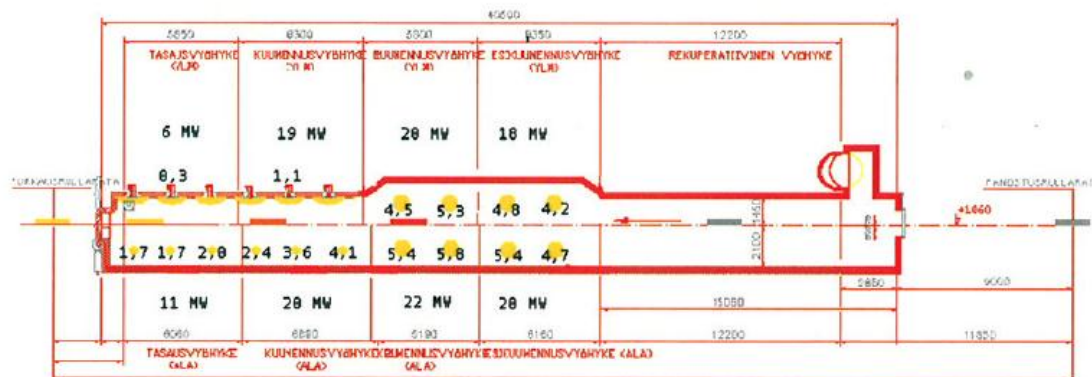
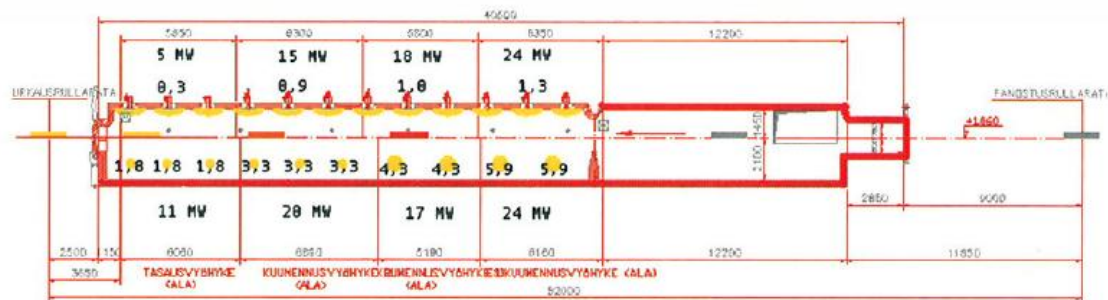


KUVA 11. Vyöhykkeet ja polttimet (5, s. 9)

AP5-uunin sivupolttimilla on käytössä pulssipoltto, jossa vyöhykkeen tehontarve toteutetaan polttimen paloaikaa säätämällä ja palaessaan poltin on aina maksimiteholla. Liekin muoto säilyy hallittuna, vaikka tehontarve polttimella vaihtelee. Savukaasut sekoittuvat pulssituksessa ja vyöhykkeellä lämpötilat ovat tasaiset. Vastaavasti AP4-uunilla pienellä tehontarpeella polttimen kautta johdetaan vähemmän kaasua ja uunin lämpötilaprofiili painottuu sivuilta kuumemmaksi kuin keskiosassa. Maksimiteholla AP5-esinauha profiili on keskeltä kuumempi kuin päistä. Esinauhan koko pituuden lämpötilaeroon vaikuttaa esinauhan pituus, koska esinauhan kelausta tehdessä häntä saattaa olla vielä esivalssilla veden alla. Ajallista vaihtelua lämpötilaprofiiliin tulee myös uunitehon vaihtelusta. Tasainen purkaustahti tasaa myös kaasunkäytön vaihteluita. (12.)

Uunien tehot on esitetty kuvassa 12. Ylempi kuva on AP4 ja alempi AP5. Polttimien sijainnit ja tehot ovat kuvissa keltaisilla palloilla. Molemmissa uuneissa on noin 14 m:n mittainen polttimetön ns. rekuperatiivinen vyöhyke. AP4:n yläpuolinen kuumennus hoituu kattopolttimilla ja AP5:n kuumennus hoidetaan katto- ja sivupolttimien yhdistelmällä. Alapuolisilla kuumennusvyöhykkeillä molemmissa uuneissa on sivupolttimet. Uudemmassa uunissa tehot on jaettu kuumennusvyöhykkeille tasaisemmin kuin vanhemmassa, jossa on painotettu esikuumennusvyöhykkeen tehoa ajatellen vaikeimpien kuumennettavien kuumennusta jo riittävän aikaisessa vaiheessa. Viime vuosina on käytetty vain 210 mm paksuisia aihioita. Yksittäiset poltintehot vaihtelevat 0,3 - 5,9 MW:n välillä pienimpien tehojen ollessa tasausvyöhykkeen kattopolttimilla. (12.)

Askelpalkkiuunien tehot



Poltintehot nestekaasulle, AP5-uunissa poltintehot +0,1 MW koksikaasulla

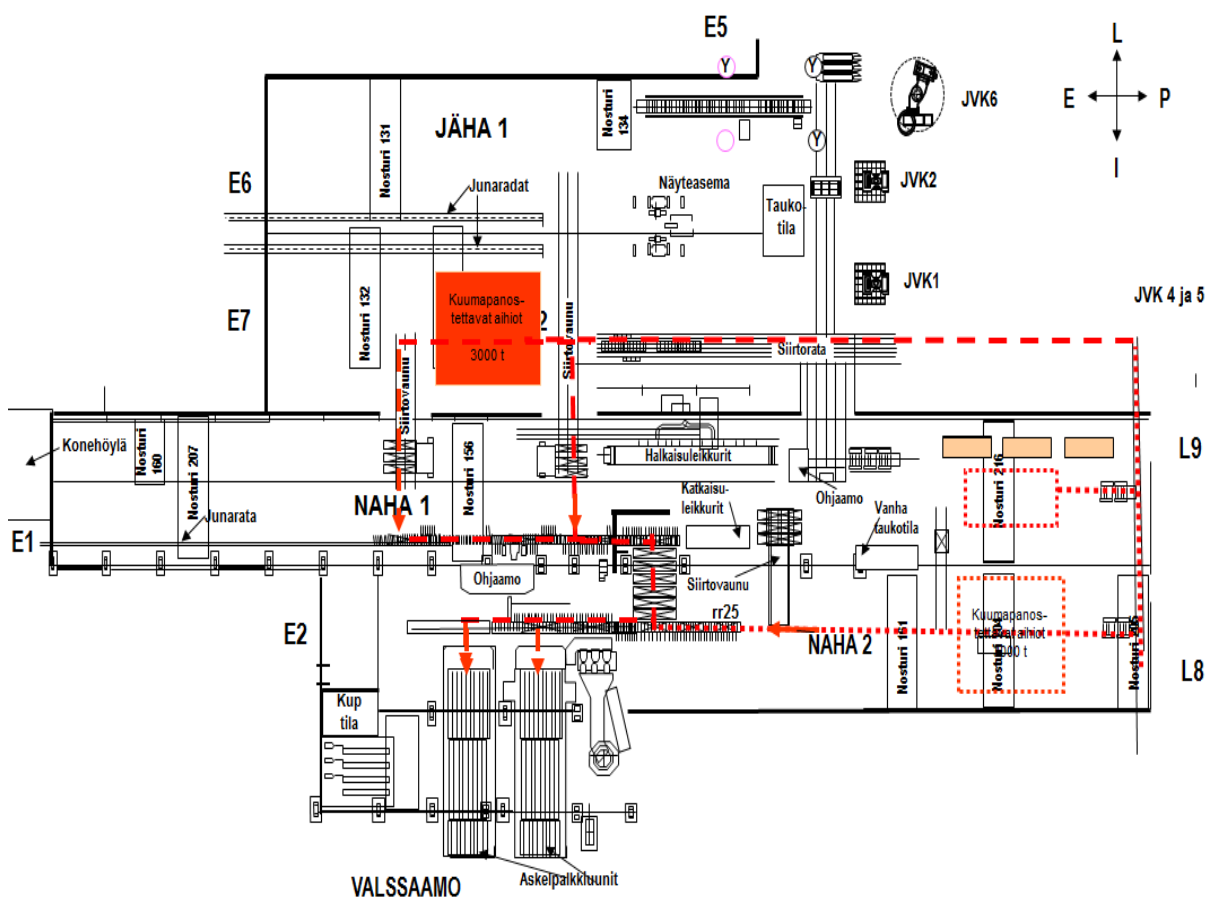
KUVA 12. Askelpalkkiuunien poltin- ja vyöhyketehot (4, s. 10)

AP-uunien hydraulitoiminen liikkuva palkisto koostuu nostorungosta ja siirtorungosta, joilla aihiot nostellaan 0,68 m askelin uunin kiinteän palkiston päällä uunin läpi. Kiinteitä palkkeja on 17 ja liikkuvia palkkeja 12. Kiskojen jäähdytys hoidetaan höyryjäähdytyksellä. (4.)

3 ASKELPALKKIUUNIEN NYKYTILANNE

Nauhavalssaamon kuumanauha-aihiot valetaan jatkuvavalukoneilla 4 ja 5. Valun jälkeen ahiot siirretään aihiovaunuilla jäähdtyshalliin. Jäähdtyshallista ahiot siirretään poikittaissuuntaisilla siirtovaunuilla edelleen nauha-aihiohalleihin 1 ja 2. Aihioden korjaus- ja leikkauspaikat ovat nauha-aihiohallissa 1. Jäähdtyys- ja nauha-aihiohalleissa ahiot säilytetään pinoissa, joissa on yleensä noin kahdeksan ahiota. Aihioden käsittely suoritetaan siltanostureilla. (10.)

Suurin osa aihioista jäähtyy jäähdytys- ja nauha-aihihalleissa hallin lämpötilaan tai lähelle sitä. Valussa kunnostettavaksi koodatut aihiot jäähdytetään, koska niitä ei voi kunnostaa kuumana. Kuuma-aihioreitti jatkuva-valukoneelta APU:lle on esitetty kuvassa 13. (10.)



KUVA 13. Kuuma-aihioreitit askelpalkkiuuneille (10)

Kuumanauha-aihiot kuumennetaan askelpalkkiuuneissa. Aihiot panostetaan tuotannonsuunnittelun laatiman valssausjakson mukaisessa järjestyksessä uuneihin. Ajotavan periaatteena on, että askelpalkkiuuneista 4 ja 5 aihiot pudotetaan valssaukseen vuorotellen.

Uunien ajotapana käytetään mallia, että kaikki aihiot panostetaan uuneihin riippumatta pituudesta, leveydestä tai laadusta. Aihioden lämmitys hoidetaan pakotetusti, eli kaikki aihiot lämmitetään tavoitelämpötilaansa voimakkaasti kaasuja käyttäen. Tahtia ei hidasteta, vaikka uunin sisällä olisi korkeamman tavoitelämpötilan omaavia aihioita.

3.1 Valssausjakson suunnittelu

Nykyisessä teräksen- ja aihiodenvalmistusprosessissa asiakastilauksista kootaan kelatarve, kelatarpeesta muodostetaan sulatuksia ja näistä edelleen valusarjoja. Kun optimoidaan terästuotantoa teräslaatuja, valukoon ja toimitusaian suhteen, ei yleensä pystytä sulattamaan ja valamaan aihioita tarkalleen valssausprosessin vaatimassa järjestyksessä. Tällöin valssausjaksot muodostetaan vain osin juuri valetuista aihioista. Ennen valssausta aihiot on kuumennettava valssauslämpötilaan. Kuumennusaika uuneissa määräytyy kylmimpien aihioden ehdoilla, jolloin kuumien aihioden lämpösisältöä voidaan vain heikosti hyödyntää. (6.)

Tuotannonsuunnittelu muodostaa valssausjaksot. Valssausjakso koostuu työvalssien vaihdon välissä peräkkäin valssattavista 100 - 160 ahiosta. Valssausjaksoa suunniteltaessa prioriteetin tärkeimpänä asiana pidetään ns.

”ruumisarkkumuotoa”, jossa valssattavien aihioden leveyden muoto etenee kapeasta leveämpään ja takaisin kapeaan. Toiseksi tärkeimpänä asiana pidetään paksuutta ja kolmantena teräksen lujuutta. Prioriteetin hännillä on lämmitettävän aihion tavoitelämpötila. (13.)

Jaksonsuunnittelijat pyrkivät ohjelmoimaan mahdollisimman monta saman tavoitelämpötilan omaavia ahiota peräkkäin uuneihin, jotta voitaisiin taata aihioden lämpötilojen tasaisuus. Kuitenkin tavoitelämpötilan vaihtelua esiintyy joka jaksossa, koska tavoitelämpötilaa ei priorisoida jakson muodostuksessa.

Liitteessä 5 on yksi valmis jakso, joka sisältää 147 aihiota. Kuvassa ylhäältä alaspäin on leveys, paksuus, lujuus ja tavoitelämpötila. Energiatehokkuuden kannalta tavoitelämpötilan vaihtelu ei ole suotuisaa. Jos edellisen aihion tavoitelämpötila on ollut 1 280 °C ja seuraavat 2 aihiota tavoitelämpötilalla 1 240 °C ja edelleen seuraavat aihiot 1 270 °C, voidaan todeta, että 1 240 °C:t aihiot eivät ole todellisuudessa 1 240 °C vaan jonkun verran yli, mahdollisesti jopa 1 270 °C. Tämä aiheuttaa uuneissa kaasujen kulutuksien vaihtelua ja ns. ”turhaa” kaasunkäyttöä.

Mikäli lämpötila olisi prioriteettina tärkeimpänä, olisi suotuisaa panostaa ensimmäisenä korkeimmat tavoitelämpötilalliset aihiot uuniin ja porrastetusti pienempi lämpötilaisiin aihioihin. Ideaalitulanteessa korkeat tavoitelämpötilat jakson alkuosassa voitaisiin hyödyntää valssinvaihtoajaksi. Kuumennuksen optimointi painottaa kuumennusta mahdollisimman myöhäisessä vaiheessa ja siten maksimoiden uunista poistuvien savukaasujen hyödyntämisen uunin alkuosalla.

3.2 Uunin lämmitys

Kaasun polttoa ohjaa ja säätää Honeywell HW -automaatiojärjestelmä pitäen uunit asetetuissa lämpötiloissa ja huolehtien palamisen optimaalisuudesta. Asetusarvot uuniautomaatio saa HOS-uunioptimoinnilta, niin lämpötiloille kuin ahiomaton askellusnopeuteen. (18.)

Askelpalkkiuuneissa lämmöntuonti aihioon on kaksiulotteinen, jossa säteily-lämmönsiirto kohdistuu neljään aihion sivuun; päälle, alle ja molempiin päätyihin. Ruukilla APU:n polttimina käytetään katto- ja sivupolttimia. Yläpuolinen kuumennus hoituu kattopolttimilla AP4-uunissa tai katto- ja sivupolttimien yhdistelmällä AP5-uunissa. Alapuolisilla kuumennusvyöhykkeillä on molemmissa uuneissa sivupolttimet. Rekuperatiivisella vyöhykkeellä aihiota lämmitetään kuumilla savukaasuilla. Kuumennusvyöhykkeillä tapahtuu varsinainen kuumennus. Tasausvyöhykkeellä aihion ylä- ja alapuoliset lämpötilaerot tasataan, jolloin ero on noin 20 °C. Aihion lämpötilatasaisuudelle on määritetty tavoite (10 - 30 °C), joka määrittelee sallitun lämpötilaeron lasketuissa pintojen ja aihioytimen lämpötiloissa purkaushetkellä. Osalla

vyöhykkeistä (kuva 11, s. 20) polttimet on suunniteltu siten, että ne pystyvät käyttämään koksi- ja nestekaasua, jolloin polttoainevalinnoilla voidaan minimoida kustannuksia. (12.)

Uuneissa on pieni ylipaine, jotta kylmä ilma ei virtaisi luukkujen aukaisujen aikana uunin sisään ja alentaisi täten uunin lämpötilaa. Ylipaine ei kuitenkaan voi olla kovin suuri, koska silloin uunin savukaasut virtaisivat luukkujen kautta ulos.

3.3 Lämpötilan seuranta

Uunien panostuksessa aihiot panostetaan keskelle tai molemmille laidoille. Panostusvälinä käytetään 50 - 100 mm. Ennen panostusta kaikkien aihioden lämpötilat mitataan, jotta järjestelmä tietää optimoida kuumennuskäyrän. (4, s. 5.)

HOS laskee aihion lämpötilaa reaaliajassa panostuksesta purkaukseen. Optimoinnin näytöltä voidaan havainnoida paitsi keskimääräinen lämpötila, myös hetkittäiset ylä- ja alapinnan lämpötilat. Useimmiten operaattoreilla valinnassa olevalta lämpötilakaavionäytöltä nähdään purkauksessa olevien aihioden valmius, kaikkien aihioden ero kuumennuskäyrään, tahtia rajoittava vyöhyke ja vyöhykkeiden tehonkäytöt. (18.)

3.4 Askelpalkkiuunien kuumennuksen optimointi

Kuumennuksen optimointijärjestelmän HOS:n pääperiaate on ohjata aihiokuumennusta siten, että aihiokohtaiset lämpötila- ja tasaisuustavoitteet toteutuvat linjan tahdilla ja energiakulutus minimoiden.

Energiasäästöperiaatteesta seuraa, että aihiot pyritään kumentamaan mahdollisimman myöhäisessä vaiheessa. Järjestelmä laskee ja ohjeistaa uuniautomaatiota uuneissa kulloinkin tarvittavista asetuslämpötiloista, joilla aihioden kuumennus tavoitteisiin hoituu. Optimointijärjestelmän ydin on fysikaalinen malli, joka laskee uunissa tapahtuvaa säteilylämmönsiirtoa ja aihioden kuumenemista johtumalla. Laskennassa määritetään ensin uunimittauksista uunin ja savukaasujen lämpötilaprofiilit koko uunin matkalle, joista edelleen lämpötaseiden avulla lämmönsiirto kuhunkin aihioon. (7.)

Järjestelmä tarvitsee oikeat panostus ja kuumennuksen aikaiset tiedot käyttöönsä, joista lasketaan aihiolämpötilaa reaaliajassa. Linjan tahdista ja aihion kuumennustarpeesta määritetään aihiolle tarvittava kuumennuskäyrä eli aihion lämpötilatavoite aina tietyn vyöhykkeen lopussa. Vaikutusalueella sijaitsevat ahiot ja niiden yksilöidyt painokertoimet vaikuttavat laskentaan, jossa haetaan vyöhykkeelle lämpötila-asetus, millä ahiot parhaiten kuumenevat tavoitteisiinsa. Siten kuumennuksen tulos on kompromissi uunissa olevien aihioden kuumennustarpeista. Näin ylävyöhykkeellä, josta edelleen alavyöhykkeelle lasketaan vastaava symmetrinen lämmöntarve huomioiden kiskohäviöt ja ohjataan sen kaasuvirtausta suhdesäädöllä. (7, s. 3.)

Mikäli laskettu lämpötila-asetus on suurempi kuin vyöhykkeen sallittu lämpötila tai maksimikaasuvirtaukset, optimointi lisää kuumennusaikaa pidentämällä askellusväliä. Asetusarvolaskenta etenee tasaukselta kuumennusvyöhykkeille päin ja lähtee maksimaalisista, käytettävissä olevista asetusarvoista viimeisillä kuumennusvyöhykkeillä. Optimointi ilmoittaa uuniautomaatiolle ajat, minkä kuluttua tapahtuu seuraava askellus ja milloin seuraava aihio on valmis pudotettavaksi. (7, s. 3.)

Normaali ajomalli on, että kuumennuslämpötilatavoite asetetaan saavutettavaksi ”rimalla” kuumennus- ja tasausvyöhykkeen välissä. Tällä taataan aihion lämpötilan tasoittuminen. Yleensä tavoite on 20 °C, mutta toteuma on pienempi kuin 10 °C. (7, s. 3.)

3.4.1 Optimoinnin tarpeet

Aihiokuumennukselle asetetut tavoitteet kiteytyvät vaatimukseen tavoitelämpötilan saavuttaneista ja tasalämpöisistä aihioista halutulla purkaus-tahdilla. Optimointijärjestelmä toteuttaa em. vaatimuksen huolimatta olosuhteiden vaihteluista kuten erilaiset

- ahiomitat ja kuumennustavoitteet eli uunisisällön koostumuksen vaihtelut
- panostuslämpötilat
- ajossa olevat uunit, tuotantotahti, linjahäiriöt.

Alun perin optimoitiin kahta tekijää: kapasiteettia ja energiankulutusta. Ne ovat edelleen keskeisiä optimoinnin tehtäviä, mutta yhä enemmän painotetaan

optimoinnin roolia kuumennuksen laatuvariaatioiden tasaajana ja mahdollisuutena ohjata ahiokuumennusta myös erikoistarpeita huomioiden esim. seosaineiden liukenemisajan ohjaus tietyllä pitoajalla. Ohjelmoinnissa on tiedostettava valinta, mitä painotetaan ja minkä kustannuksella. (7.)

Optimoinnilla ohjataan kuumennuksen tehokkuutta, ja laatu puolen perusta on uunissa itsessään. Optimointi laskee ja ohjaa aihion lämpötilatavoitteen ja paksuussuuntaisen lämpötilatasaisuuden saavuttamista. Kuitenkin itse uuni, erityisesti poltinaseinointi, ohjausvyöhykkeet, polttotekniikka, kiskot, eristykset, luukut, luo edellytykset koko aihion lämpötilatasaisuudelle pituus-, poikittais- ja paksuussuunnassa. Kaikkien kuumennustavoitteiden toteutuminen halutuilla toleransseilla pohjustetaan jaksonsuunnittelussa eli tavoitelämpötilasta toiseen siirtyminen hoidetaan pienillä portailla. (7.)

3.4.2 Optimoinnin ohjaus

HOS:n ohjauskuvakkeilta välittyy tietoa HOS:n laskennoista ja ohjausasetuksista (ajankohtaisten tietojen lisäksi myös historiatietoja). Hallintanäyttöjen avulla uunimiehet voivat ohjeistaa optimointia muuttuneista tilanteista ja tarpeista kuten

- linjahäiriö
- linjan ajo rajoitetulla tahdilla
- pudotusjärjestyksen muutos
- tavoitelämpötilan saavuttamiskohta
- tilapäinen tarve yleiselle pudotuslämpötilan muutokselle
- tasausvyöhykkeen taper-arvon käyttö esim. coilbox ei käytössä ja hänälle kuumennustarvetta
- sallitaanko esinauhan lämpötilatiedon hyväksikäyttö takaisinkytkentäkorjauksena esim. esinauhan lämpötilamittaus tieto ei laadullista.

Kuvissa 14 - 16 on esimerkkejä HOS-järjestelmän näyttökuvakkeista, joita uunimiehet käyttävät. (7, s. 5 - 6.)

Uuni Taso 2 : HOS

HOS UUNIN HALLINTA

PUUKKO

F1 Uunin hallinta
F2 Poikkeustilanteet
Esc PALUU

Ajoitusarvot

Kerros Offset (s)	1.00	0	C
Uuni 4 Viipymäaika (min)	160		
Uuni 5 Viipymäaika (min)	160		
Jaksonvaihdon kesto aika (min)	30		

Ohjauvalinta

N°	Feed-back	
4	OFF	C
5	OFF	C

Tuotannossa olevien uunien järjestys

MOODI: AUTOMATIC

Muuta

(0 : Järjestyksen loppu)

Uuni numero	5
Uuni numero	4
Uuni numero	0
Uuni numero	0
Uuni numero	0
Uuni numero	0
Uuni numero	0
Uuni numero	0

LISTA TUOTANTOHÄIRIÖISTÄ

Laite	Alkaa	Loppuu	Häiriötä jäljellä	Häiriön syy
	Aihio nro	Aika	Kesto aika	Aika

ANNA HÄIRÖ
MURTA
POISTA
CANCEL

Uuni	Uunimiehen korjaus (°C)	Etäisyys missä tavoitelämpötila pitää saavuttaa
N°	Tila	Ulosoton tavoitelämpötilalle
4	PRODUCTION	0 0 33.51
5	PRODUCTION	0 0 33.51

13:22:25 31/10/11 PCV998 HAIRIO 31-OCT-2011 13:22:25 - Aika = 0 01:20:00
List

FUR4 FUR5 HOS

F4 PRODUCTION

F5 PRODUCTION

Mill Production 409

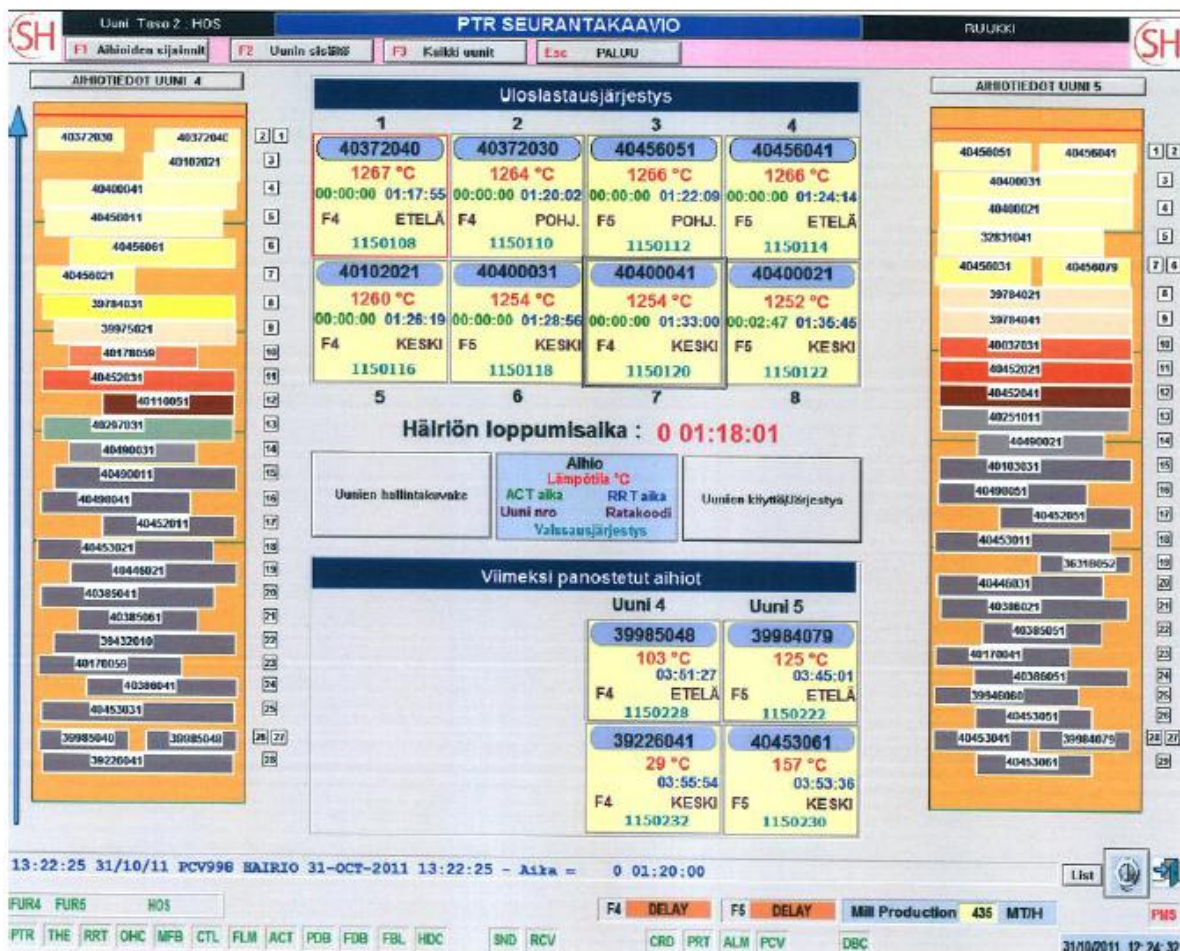
MT/H

PMS

PTR THE RRT OHC MFB CTL FLN ACT PDS FDS FBL HDC
SND RCV
CRD PRT ALM PCV
DBC

31/10/2011 12:52:30

KUVA 14. Hallinta-näytöltä annetaan optimoinnille tieto perustilanteesta ja tarvittavat tarkennukset kuumennukseen (7, s. 7)



KUVA 16. Uunien aihiosisältö (7, s. 7)

3.5 Uunien kuormitus

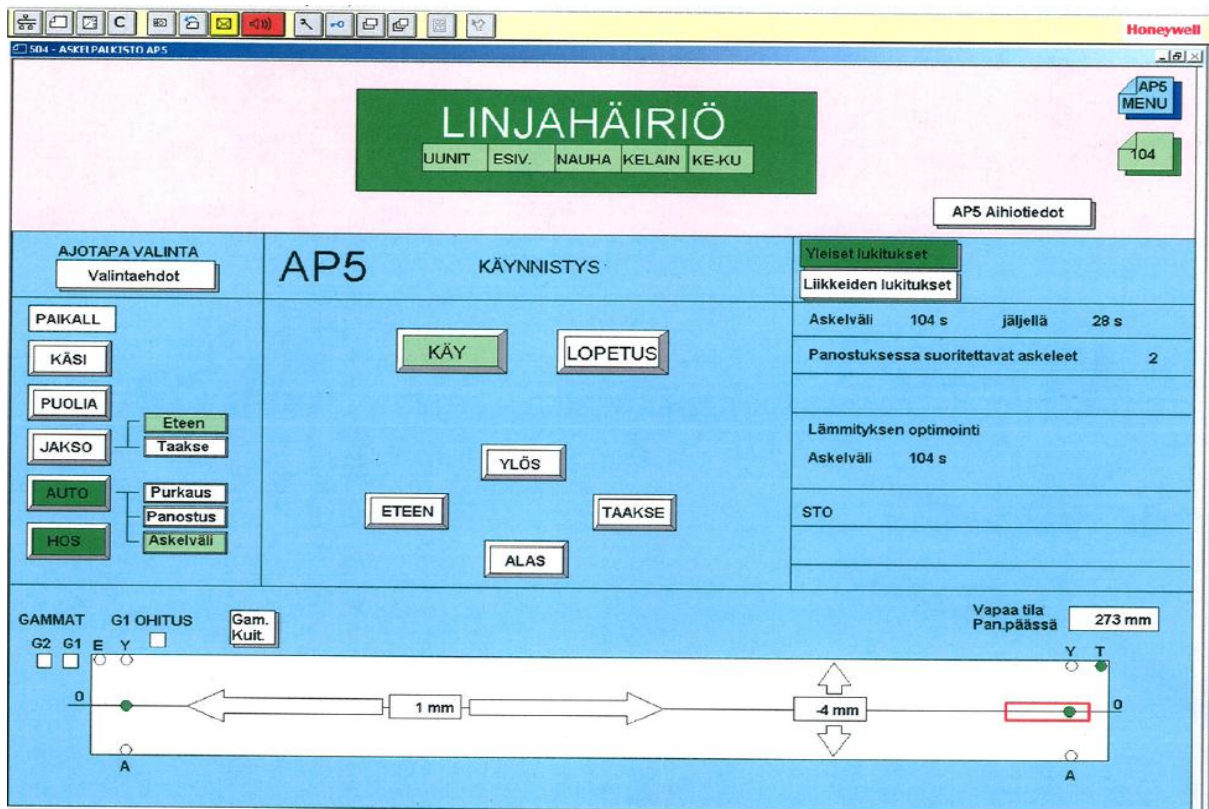
Kuormien vaihtelu on yksi olennainen osa uunien ajoon. Ennakoidulla kuormitus tiedolla voidaan päätellä, millä tahdilla uuneja tulisi ajaa viikoittain.

Uuneja kuormitetaan jatkuvasti erimittaisilla aihioilla, joiden vaikutus nähdään pienempinä vuorokausikohtaisina tuotantotonneina ja kaasujen kulutuksien kasvuna. Aihiot pyritään panostamaan mahdollisimman tiiviisti uuniin, jotta kaasujen teholliset käytöt saataisiin mahdollisimman hyvin hyödynnettyä aihioihin. Aihiot panostetaan uuniin joko keskelle tai molemmille laidoille.

3.6 Askellustahti

Uunioperaattorit voivat puuttua APU:n askellustahtiin, mikäli tavoitelämpötilat eivät saavuta niille asetettuja arvoja tietyillä vyöhykkeillä. Askellustahti toimii HOS-automaation perässä kiinteästi eli askellusta ei tarvitse muuttaa missään vaiheessa manuaalisesti, vaan HOS laskee jokaiselle aihiolle oman viipymääjan vyöhykekohtaisesti. Mikäli aihio saapuu vyöhykkeelle liian kylmänä, HOS laskee uuden lämmitysajan eli toisin sanoen lisää kaasun kulutusta vyöhykkeellä saavuttaakseen asetetun lämpötilan. (14.)

Tasausvyöhykkeen ongelmana on ollut liian tarkka lämpötilatasaisuuden seuranta. Tällöin ahiot eivät ole tulleet uunista ulos, koska aihion jossain kohdassa ei ole saavutettu tavoitelämpötilaa, joka on ollut muutamasta celsius-asteesta kiinni, aiheuttaen viipymääjan lisäyksen purkausvaiheessa. Viipymääjan lisäys on minimissään 120 sekuntia, jolloin ahiot tulevat uunista ulos vasta, kun tämä aika on kulunut. Tällöin uunimiehen täytyy puuttua askellustahtiin pakottaakseen aihio purkausradalle. Tämä aihe on jo tutkinnassa eikä liity suoranaisesti tähän työhön.



KUVA 17. Askellustahdin muutoskuvake AP5 (14)

Askellusmallina käytetään kuvan 17 mukaisesti askelvälimallia, jolloin HOS määrittää automaattilla askelvälin optimoinnilta tai voidaan joko itse määrätä askellusväli syöttämällä tietty aika. HOS-malli on yleisesti käytössä ja se on helpoin ja joustavin ajomalli. (14.)

Panostusmallia käytetään harvoin. Panostusmalli käytetään vain viikonlopun seisakin jälkeen aloituksessa, jolloin uuneihin voidaan panostaa omatoimisesti aihioita riippumatta lämmitysajasta. Panostusmallissa uuni vaatii tietyn välin, jotta aihio voidaan uuniin panostaa. Tätä mallia ei ole hyvä käyttää ajon aikana, koska aihioden väleihin voi jäädä isoja aukkoja, eikä ahiomatosta tule tiivis. (14.)

Kolmas vaihtoehto on purkausmalli. Purkausmallissa purkauksen jälkeen seuraava aihio ajetaan gammalle, jolloin ahiomatto pakotetaan liikkeelle. Tämä ei ole hyvä tapa ajaa, koska ahiot eivät kerkeä lämmitä tiettyihin pisteisiin, vaan vaarana on ahioiden jääminen liian kylmäksi. Lisäksi tämä lisää välien jäämistä ahiomaton välille. Tätä mallia ei käytetä juuri koskaan. (14.)

4 LÄMPÖTILOJEN HALLINTA

4.1 Uunista mitattavat suureet

APU:sta mitataan vyöhykekohtaiset happimäärät, paine, polttoilman lämpötila, kaasumäärät ja lämpötilat. Mittaustiedoista saadaan lisäksi kuumennus- ja tasausvyöhykkeen lämpötilat ja optimikuumennuskäyrästä asetusarvot. Uunin lämpötilat ja polttoilman lämpötila mitataan termoelementeillä, kaasun virtaus venturiputkella, happimäärä zirkonium-antureilla ja paine paine-erolähettimellä.

4.1.1 Happipitoisuuden säätö

AP5-uunin pulssipolton ohjauksessa on lähdetty siitä, että jo peruspoltossa ollaan yli-ilmalla: poltossa on asetus 1,06-kertaiselle polttoilmalle laskennalliseen ilmatarpeeseen nähden. Vyöhykekohtaisesti voidaan asettaa tästä poikkeava ilmakerroin. Vyöhykekohtainen happitason lisäys tapahtuu lyhentämällä kaasuventtiilien aukioloaikaa. Johtuen erikokoisista kaasu- ja polttoilmaventtiileistä ja putkistopituuksista, automaatiojärjestelmässä on parametrit venttiilien mukautusaikoja varten, joilla saadaan poltin syttymään/sammumaan paremmin. Uunien ylävyöhykkeiltä mitataan happipitoisuutta, ja happipitoisuudella 2 - 3 % saadaan helposti irtoava hilse. (13.)

4.1.2 Paineen säätö

Uuni pyritään pitämään hieman ylipaineisena, ettei kylmiä vuoto-ilmoja pääse sisään. Pulssipolttouunin (AP5) painesäätö toimii hieman eri tavalla kuin proportionaalipolttoisen uunin (AP4). AP4-uunissa paine mitataan paine-erolähettimellä uunin tasausvyöhykkeeltä ja säädin säätää savukaasukanavan säleikköä saadun mittauksen perusteella. AP5-uunissa lasketaan uuniin puhallettava ilma/kaasumäärä, mistä saadaan savukaasukanavan säleikölle esiasetusarvo, mitä säädin vielä korjaa paine-erolähtetimen mittauksen perusteella. (12.)

4.1.3 Kaasumäärä

Koksikaasun virtaus mitataan venturiputkella. Virtausputkea supistetaan, jolloin saadaan virtausnopeudesta riippuva paine-ero, joka mitataan paine-erolähettimellä. (16.)

Pienillä kaasuvirtauksilla AP4-uunin kahden kaasun vyöhykkeillä takaisinvirtaukset minimoitiin pitämällä yllä tietyt minimivirtaukset molemmilla kaasuilla, jotka on noin 10 % poltintehosta. Nykyään AP4-uunin kahden kaasun vyöhykkeillä poltetaan vain koksikaasua. AP5-uunilla polttopulssin aikana polttimessa on yhtä kaasua, seuraavalla pulssilla voi kaasu vaihtua kaasutaseen muuttuessa.

Koksikaasua käytetään AP5-uunissa kaikilla kuumennusvyöhykkeillä, AP4-uunissa koksimahdollisuus on puolella kuumennusvyöhykkeistä. Koksikaasutarjonnan käydessä riittämättömäksi polttoa vähennetään AP5-uunin loppupään vyöhykkeiltä poltinpari kerrallaan ja niillä otetaan polttoon nestekaasu. Molempien uunien tasausvyöhykkeet ovat vain nestekaasukäyttöisiä helpon säädettävyyden takia. Jos koksikaasun tarve uuneilla vähenee valssauksen taukojen ajaksi, kaasu poltetaan voimalaitoksella. Vuonna 2010 uunien energiakäytöstä 60 % katettiin koksikaasulla. Liitteessä 2 on esitetty koksikaasu tarjonnan vaikutus nestekaasun kulutukseen. (12.)

4.1.4 Lämpötila

Uunin lämpötilat ja polttoilman lämpötila mitataan termoelementeillä. Uunin lämpötilan mittauksessa käytetään platina/platina-rhodium-termoelementtiä, joka soveltuu tarkkaan lämpötilanmittaukseen alueella 400 - 1 500°C. Polttoilman lämpötilaa mitataan nikkeli/nikkeli-kromi-termoparilla, jonka tavallisin käyttöalue on 300 - 1 000°C. (16.)

4.2 Asetusarvojen laskenta

Asetusarvojen laskennan tarkoituksena on määrittää ideaaliset asetusarvot uunin yläkuumennusvyöhykkeen lämpötilan säätimille. Ylä- ja alakuumennusvyöhykkeiden välillä on suhdeluku, jonka mukaan alakuumennusvyöhykkeen kaasu- ja polttoilmamäärä seuraavat yläkuumennusvyöhykkeen lämpötilan asetusarvoa. HOS laskee jokaiselle aihiolle ihanteellisen lämmityskäyrän, jonka mukaan aihioita lämmitetään ylittämättä suurinta sallittua tulenkestävien aineiden lämpötilaa ja suurinta mahdollista polttoaineen virtausnopeutta kussakin vyöhykkeessä. Lasketut asetusarvot perustuvat aihioden materiaali-seurantaan, ajoituslaskentaan, lämpötilalaskentaan sekä uunin mittaustietoihin. (20, s. 8 - 9.)

4.2.1 Lämmityskäyrä

Lämmityskäyrältä saadaan aihion lämpötila uunin matkalla ja lämpötilan tasaisuusvaatimus, joiden mukaan jokainen aihio pyritään kuumentamaan. Ideaalisen lämmityskäyrän mukainen aihion kuumentaminen on kuitenkin hankalaa, koska uuniin panostetaan erikokoisia aihioita, joiden tavoitelämpötilat ja teräslaadut poikkeavat toisistaan. Tuotannonsuunnittelu pyrkii suunnittelemaan aihioden panostusjärjestyksen siten, että peräkkäin olisi mahdollisimman paljon ominaisuuksiltaan samanlaisia aihioita. Ihanteellisen lämmityskäyrän avulla voidaan myös minimoida polttoaineen kulutusta, jonka alenemiseen vaikuttaa myös poistokaasuissa olevan lämmön käyttö. Lämmityskäyrään vaikuttaa olennaisesti aihion uunissa pitoaika. Mitä kauemmin ahiota pidetään uunissa, sitä alhaisemmat ovat kuumennusvyöhykkeiden asetuslämpötilat. (20, s. 8.)

4.2.2 Säätö

Uunioperaattori voi valita ylä- ja alakuumennusvyöhykkeen välille lämmönvirtaussuhteen, jota asetusarvojen määritystoiminta käyttää ja määrittää polttoainevirtausnopeuden suhteen. Asetusarvoa laskettaessa määritetään lämpötasapaino, joka ottaa huomioon häviöt seinämien ja palkkien kautta. Lämpötilojen asetusarvot lasketaan vain ylävyöhykkeelle. Alavyöhykettä ohjaavat polttoainesuhteen asetusarvot. (20, s. 8 - 10.)

4.2.3 Kuumennuksen painotusalueet

Kuumennuksen pääpainotusalue on uunien kuumennusvyöhykkeiden loppupäässä. Aihio ei pääse tasausvyöhykkeelle ennen kuin se saavuttaa lasketun tavoitelämpötilansa. Uunissa on jokaiselle vyöhykkeelle omat painotusalueet, jotka määritetään aihiolle ja jotka ovat vyöhykkeellä ja joiden laskettu asetuslämpötila on saavutettu. Aihioita, jotka eivät ole kyseisen sektorin painotusalueella, ei huomioida lämpötilan asetusarvon säädössä. Painotusalue määritetään suhteessa sektorin vasteaikaan.

4.3 Lämpötilojen hallinta häiriöiden aikana

Tuotannon häiriöajat antaa operaattori, jolloin asetusarvot pienenevät määritetyn häiriöstrategian mukaisesti. Lyhyen häiriön aikana, alle 15 minuuttia, asetusarvot lasketaan normaalisti. Tarkoituksena on, että tuotanto voi käynnistyä milloin tahansa.

Pitkän häiriön aikana ylävyöhykkeen asetusarvot lasketaan alas, jotta vältetään aihioiden ylikuumeneminen ja aihioiden suuri hapettuminen. Asetusarvon lasku on verrannollinen ilmoitettuun häiriöön ja ilmoitettuun kesto-aikaan nähden.

Lämpötilan asetusarvon ei kuitenkaan sallita olevan pienempi kuin vyöhykkeen minimiasetusarvon, joka on säädetty siten, että tuotannon uudelleenkäynnistys on mahdollista alle 30 minuutissa. Uunin lämpötilaa lasketaan 80 °C/h.

Turvallisuussyistä, vyöhykkeen lämpötilan asetusarvo ei koskaan ole alle 800 °C. Asetusarvoja nostetaan häiriön loppupuolella siten, että häiriön lopussa tuotanto voi käynnistyä. Kun häiriö on ohi, asetusarvot on laskettu vastaavasti kuin tuotannon aikana. (20, s. 10.)

Häiriöön jouduttaessa esikuumennusvyöhykkeet sammutetaan. AP4-uunin esikuumennusvyöhyke joudutaan sammuttamaan manuaalisesti ja AP5-uuni sammuttaa automaattisesti pulssipolttamisen, kun tehontarvetta ei ole. Onkin järkevää sammuttaa uunin alkupäästä lämmöt ensimmäisenä, koska lämmöt virtaavat uunin loppupäästä alkupäähän.

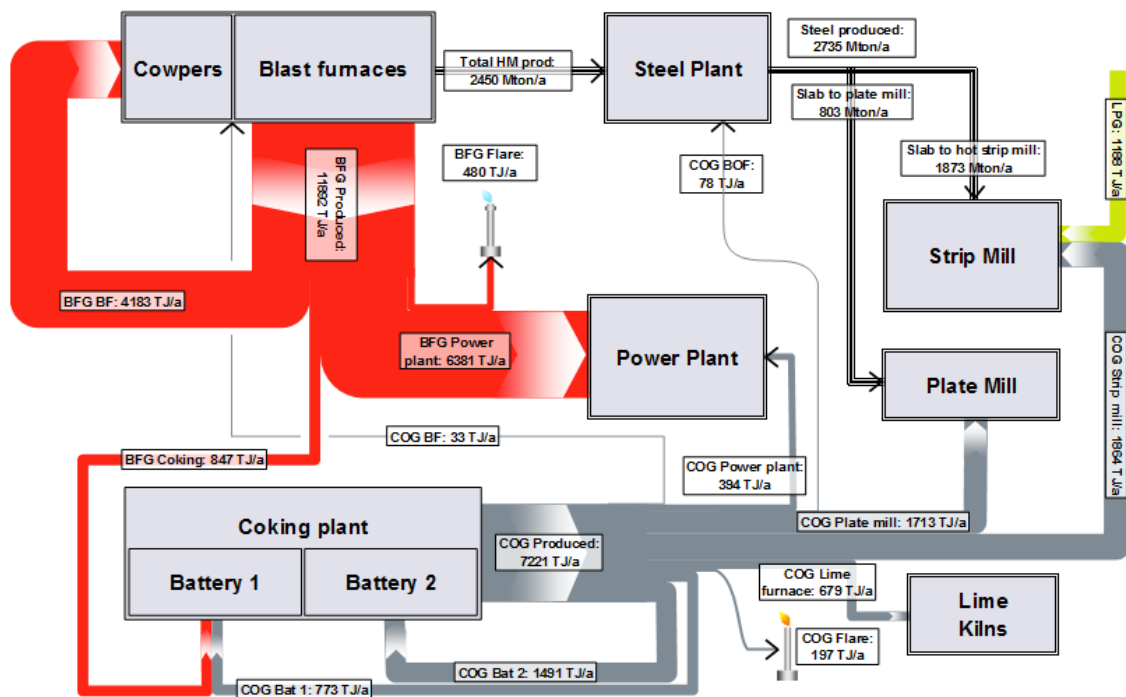
5 KAASUJEN KÄYTTÖ

Raahan terästehtaalla käytetään kolmea eri kaasutyyppiä, jotka ovat masuuni-, koksi- ja nestekaasu. Kuvassa 18 on esitetty kaasujen virtaukset, jossa punainen on masuunikaasu, harmaa koksikaasu ja vihreä nestekaasu. Nuolen paksuus kuvastaa kaasujen virtausmäärää.

Prosessikaasujen käyttö

RUUKKI

Process gas streams at Raahе Steel in simulations
Reference case



29/8/2012

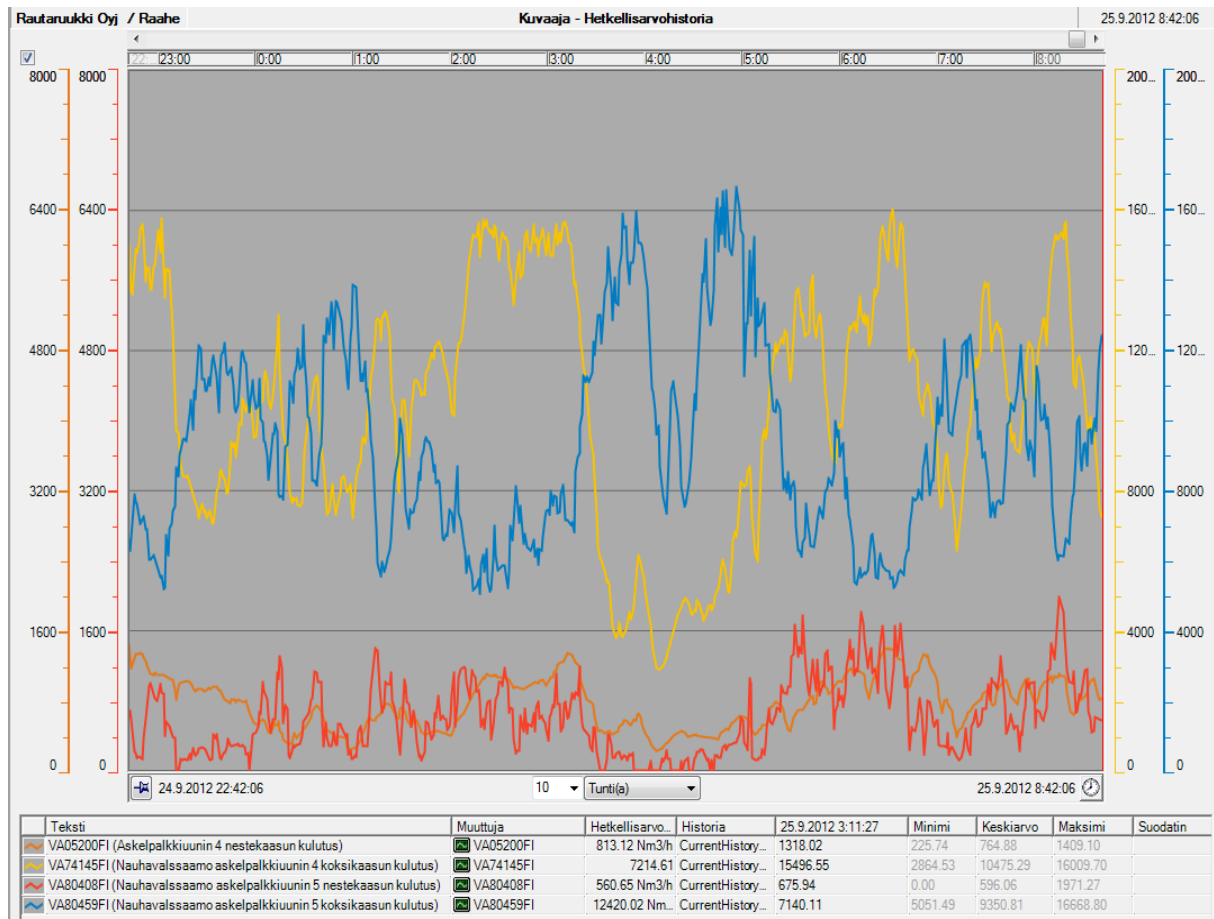
www.ruukki.com | Kimmo Kinnunen | INTERNAL

RUUKKI

KUVA 18. Prosessikaasujen käyttö Ruukin terästehtaalla (10)

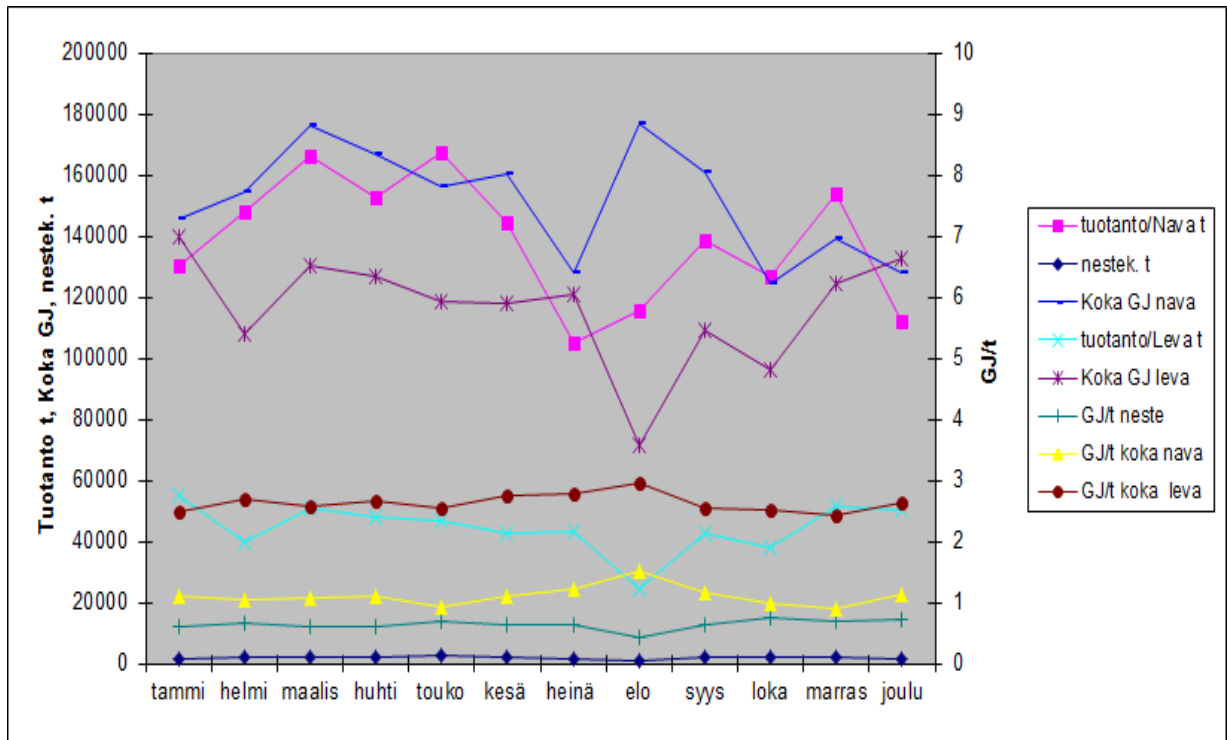
Nava (kuvassa 18 Strip Mill) käyttää prosessin viimeisenä käyttäjänä koksikaasua, mistä johtuen koksikaasun polttoa ei voida pitää vakiona, koska nava toimii koksikaasuprosessin tasauskäyttäjänä.

Ruukilla on käytössä reaaliaikainen kaasujen seurantaohjelma Vtrin, josta pystytään katsomaan tarkasti kaasujen kulutuksia. Ohjelma seuraa ja päivittää kaasukulutuksien käyttöä 5 sekunnin välein. Kuvassa 19 on esimerkki kaasujen kulutuksista molemmissa AP-uuneissa, jossa on otettu 10 tunnin ajanjakso tarkasteluun. Lisäksi liitteeseen 3 on otettu vertailun vuoksi kaasujen kulutukset täydellä tahdilla ja viikonlopun seisakissa.



KUVA 19. Vtrin. Prosessikaasujen seurantaohjelma.

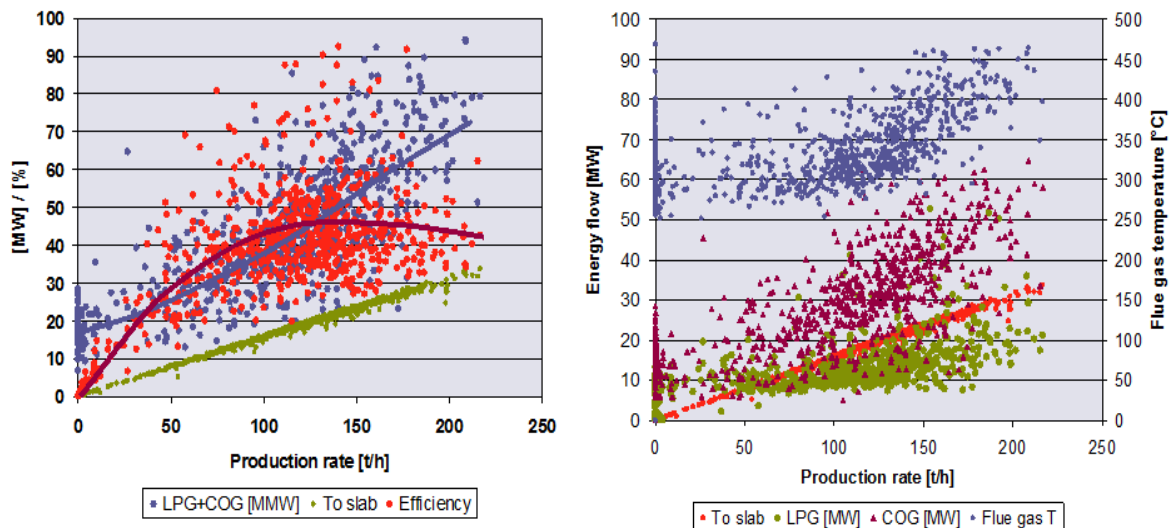
Kuvaajasta huomataan, että koksikaasun kulutus on selvästi suurempaa kuin nestekaasun kulutus. Tavoitteena olisi pyrkiä minimoimaan nestekaasun kulutus AP-uuneissa eli pyrkimys nestekaasupiikkien poistamiseen. Nestekaasua ei voida poistaa uuneilta kokonaan, koska kuten aiemmin todettuna sivulla 20, uuneilla tietyillä vyöhykkeillä voidaan käyttää vain nestekaasua. Kuvassa 20 on neste- ja koksikaasun kulutukset levy- ja nauhavalssaamolla vuonna 2011.



KUVA 20. Vuoden 2011 COG ja LPG kuukausi kulutukset nauha- ja levyvalsaamolla (11)

Askelpalkkiuunien tehojen käyttö verrattuna tuntituotantoon on esitetty kuvissa 21 ja 22. Kuvaajista voidaan huomata, että AP4-uunissa tapahtuu kaasujen tehollisessa käytössä enemmän hajontaa kuin AP5-uunissa. Kuvaajista voidaan päätellä, että mitä kovempaa tahtia uuneja ajetaan, sitä energiatehottomampaa tuotanto on. Kuvaajissa punainen käyrä osoittaa uunien tehokkuutta ja sininen käyrä lpg:n ja cog:n yhteistä tehoa.

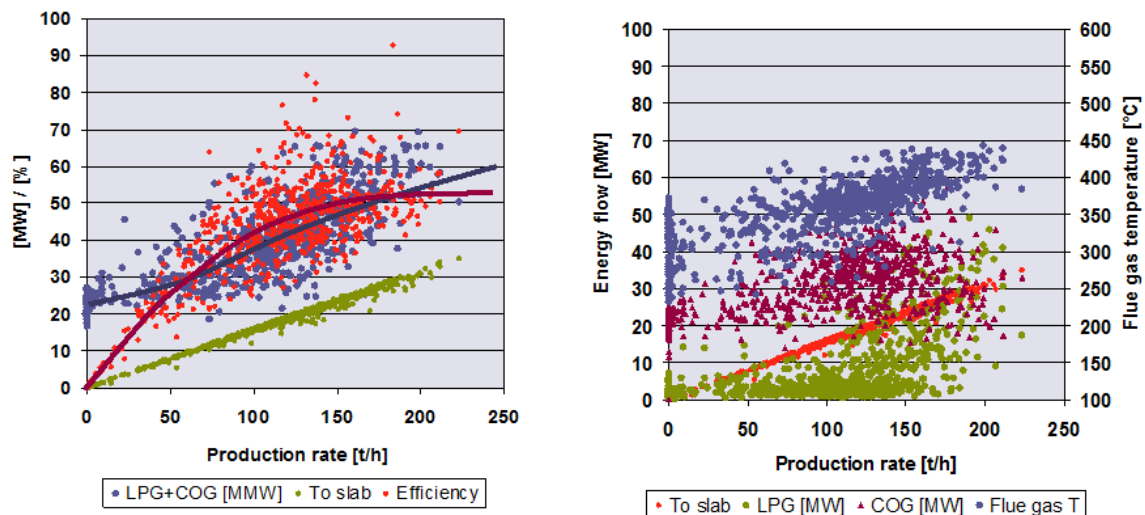
AP 4 Energy Usage 16.11.-22.12.2010



KUVA 21. AP4-uunin energiatehokkuus (19)

Kuvaajan mukaan AP4-uuni on tehokkaimmillaan 100 - 170 t/h tuntituotannolla. Tehokkuuskäyrän ohittaessa kaasujen tehollisen käyrän huomataan, että tehokkuus laskee sitä mukaan mitä enemmän kaasuja käytetään. Tämä johtuu uunin suorituskyvystä suhteessa aihoiden lämmönjohtokykyyn, koska nopeammalla tahdilla kaasujen kulutus kasvaa ja rekuperaattoriin siirtyvä lämpöosuus kasvaa kuumennettuihin aihioihin nähden.

AP 5 Energy Usage 16.11-22.12.2010



KUVA 22. AP5-uunin energiatehokkuus (19)

AP5-uuni on tehokkaimmillaan 150 - 175 t/h tuntituotannolla. Muuten AP5-uuniin pätee sama tilanne kuin AP4-uuniin. Tehokkuuskuvaajat pätevät tarkasteluhetken ajossa ja uunikunnoilla.

5.1 Nestekaasun käyttö

Nestekaasu on tehokas polttoaine ja erittäin helposti syttyvä kaasu. Nestekaasu on myrkytöntä eikä sisällä vaarallisia lisäaineita, joten nestekaasu on ympäristöystävällinen polttoaine. (17.)

Tarkastellaan nestekaasun kustannus tehon funktiona tuntitasolla. Liitteessä 6/1 on ajanjakso 15.10. - 16.10.2012, jossa on otettu jokaiselle tunnille erikseen molempien uunien kaasujen virtauksien määrät. Lasketaan uunien energian käyttö, kulutus tonni määräisesti, tehontarve ja kustannus.

Energiamäärä (E_{lpg}) uunissa voidaan laskea kaavalla 1 (18).

$$E_{lpg} = v_{lpg} \cdot Q_v \quad \text{KAAVA 1}$$

v_{lpg} = nestekaasun virtaus (m^3/h)

Q_v = nestekaasun lämpöarvo (MJ/m^3), joka on n. $92,5 MJ/m^3$ (15.)

Nestekaasun kulutus tonneina (m_{lpg}) voidaan laskea kaavalla 2 (18).

$$m_{lpg} = E_{lpg} / E_{lpg,t} \quad \text{KAAVA 2}$$

$E_{lpg,t}$ = nestekaasun energiasisältö (GJ/t), joka on noin $46,4 GJ/t$ (15.)

Nestekaasun tehontarve (P_{lpg}) voidaan laskea kaavalla 3 (18).

$$P_{lpg} = Q_v \cdot v_{lpg} / 3600 \quad \text{KAAVA 3}$$

Nestekaasun käytön kustannus (h_{lpg}) voidaan arvioida kaavalla 4 (18).

$$h_{lpg} = E_{lpg} \cdot h_{lpg,h} \quad \text{KAAVA 4}$$

$h_{lpg,h}$ = nestekaasun GJ:n hinta ($€/GJ$) sijoittuu välille $12 - 20 €/GJ$ (15.)

Otetaan tarkasteltavaksi kohteeksi esim. 15.10.2012 klo 10:00 ja käytetään apuna liitteen 6/1 virtauksien arvoja:

Energiamäärä nestekaasun yhteiskulutuksella uuneissa on

$$E_{lpg} = v_{lpg} \cdot Q_v = 1673,901 \frac{m^3}{h} \cdot \frac{92,5 \frac{MJ}{m^3}}{1000} = 154,836 GJ/h.$$

Nestekaasun kulutus tonnimääräisesti on

$$m_{lpg} = \frac{E_{lpg}}{E_{lpg,t}} = \frac{154,836 GJ}{46,4 \frac{GJ}{t}} = 3,337 t/h.$$

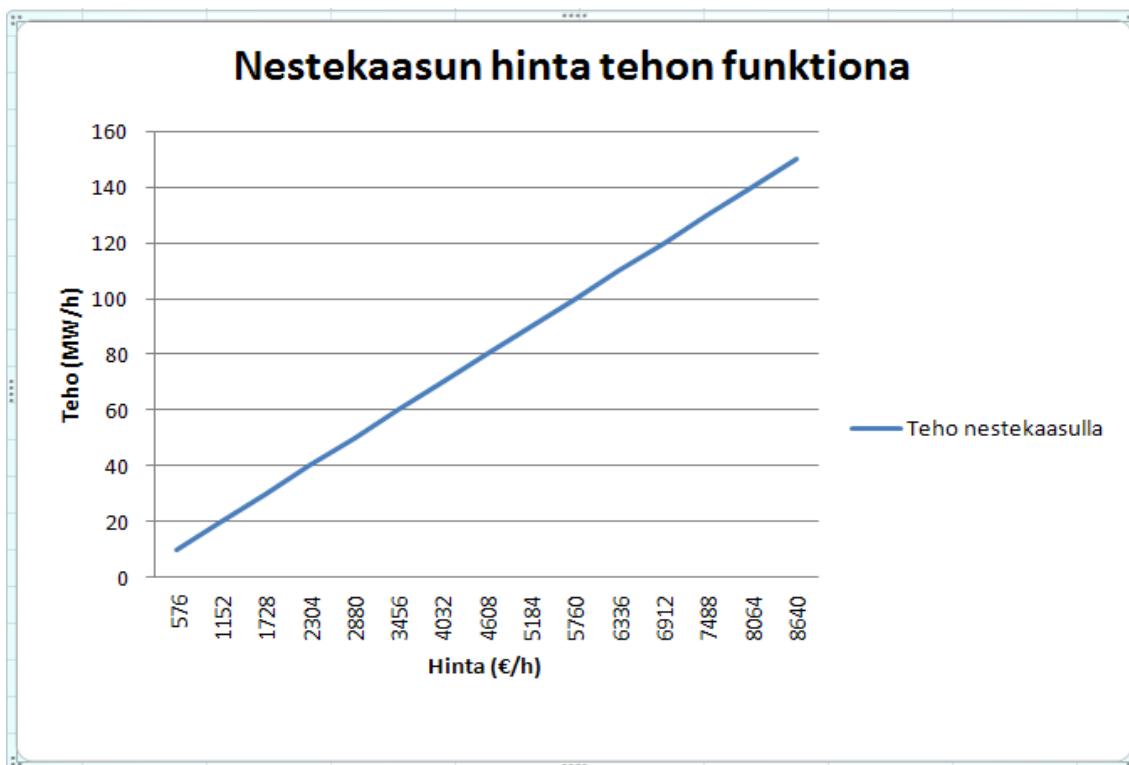
Uunien yhteinen tehontarve nestekaasulla on

$$P_{lpg} = Q_v \cdot v_{lpg} = 92,5 \frac{MJ}{m^3} \cdot \frac{1673,901 \frac{m^3}{h}}{3600} = 43,010 MW/h.$$

Käytetään nestekaasun hintana esimerkiksi 16 €/GJ. Tällä energiankulutuksella voidaan hinnaksi laskea

$$h_{lpg} = E_{lpg} \cdot h_{lpg,h} = 154,836 \text{ GJ} \cdot 16 \frac{\text{€}}{\text{GJ}} = 2477,376 \text{ €/h}.$$

Liitteen 6/1 taulukosta voidaan miltä ajalta tahansa interpoloida nestekaasun hinta tehon funktiona. Kuvassa 23 on nestekaasun tehollisen käytön vaikutus kustannuksiin.



KUVA 23. Nestekaasun tehollisen käytön vaikutus kustannuksiin nestekaasun hinnalla 16 €/GJ

Liitteessä 6/2 on ajanjakson 15.10. - 16.10.2012, johon on hahmoteltu nestekaasun tehojen vaihtelu uuneissa. Pystyakselilla on teho ja vaaka-akselilla hinta, joka riippuu tehon suuruudesta. Kuvaajasta voidaan huomata, että nestekaasun käyttö vaihtelee suuresti uuneilla. Suuriin vaihteluihin vaikuttaa olennaisena osana koksikaasun tarjonta, uunin aihiosisältö ja valssaustahti.

Nestekaasun GJ-hinta on noin 1,5-kertainen koksikaasuun verrattuna, riippuen miten koksikaasua arvotetaan tehtaan sisäisissä laskennoissa. Paitsi nestekaasulaskun minimointi myös MJ/t-ominaiskulutuksen hallinta on tärkeää.

5.2 Koksikaasun käyttö

Koksikaasu on helposti syttyvä ja hyvin myrkyllinen kaasu, jota syntyy koksauksen sivutuotteena. Koksikaasu siirretään koksauksen kaasukellosta valssaamolle runkoputkilinjaa pitkin. Putkilinja jakaantuu jakotukkia pitkin valssaamon eteläpäässä ensin uuni- ja sitten vyöhykekohtaisiksi kaasulinjoiksi. (15.)

Tehdään koksikaasulle sama tarkastelu kuin edellisen luvun nestekaasulle käyttäen samoja kaavoja. Käytetään myös samaa ajanjaksoa. Koksikaasun lämpöarvona voidaan käyttää 17 MJ/m^3 , energiasisältönä $39,21 \text{ GJ/t}$ ja koksikaasun GJ:n hintana 12 €/GJ . Koksikaasun GJ:n hinta vaihtelee suuresti sisäisissä laskennoissa, joten laskut ovat vain suuntaa antavia (15.)

Energiamäärä koksikaasun yhteiskulutuksella uuneissa on

$$E_{cog} = v_{cog} \cdot Q_v = 16331,299 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot \frac{17 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^3}}{1000} = 277,632 \frac{\text{GJ}}{\text{h}}.$$

Koksikaasun kulutus tonnimääräisesti on

$$m_{cog} = \frac{E_{cog}}{E_{cog,h}} = \frac{277,632 \frac{\text{GJ}}{\text{h}}}{39,21 \frac{\text{GJ}}{\text{t}}} = 7,081 \frac{\text{t}}{\text{h}}.$$

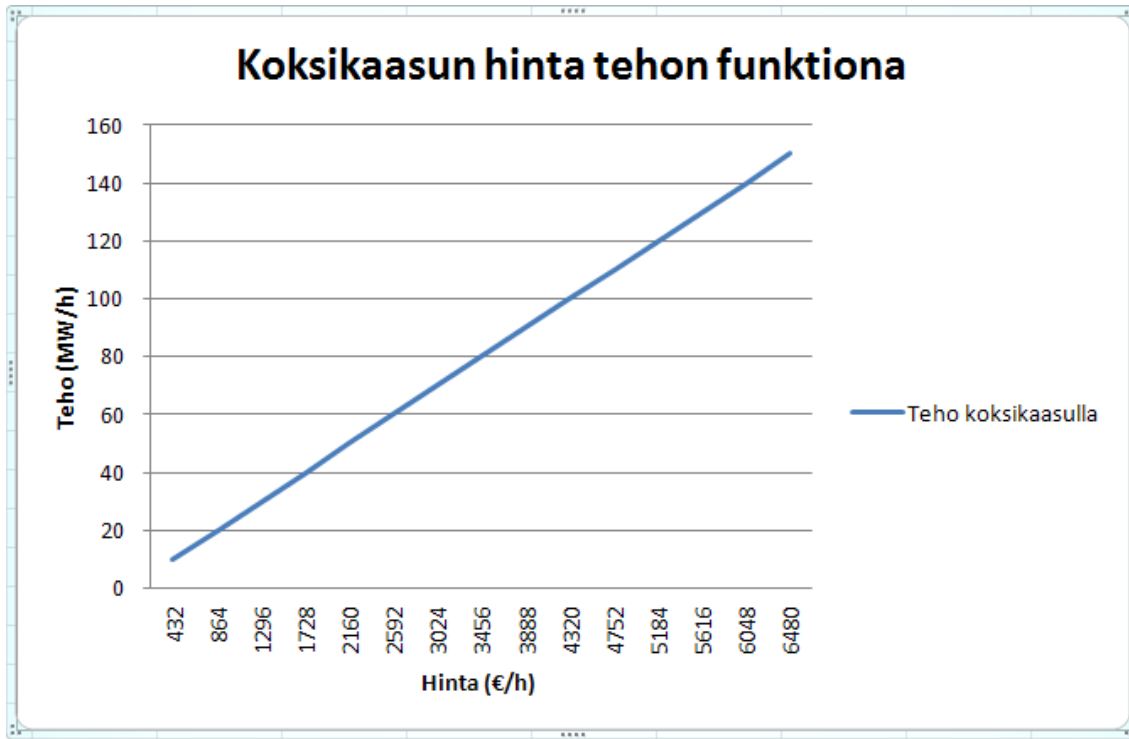
Uunien yhteinen tehontarve koksikaasulla on

$$P_{cog} = Q_v \cdot v_{cog} = 17 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^3} \cdot \frac{16331,299 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{3600} = 77,120 \frac{\text{MW}}{\text{h}}.$$

Tällä energiankulutuksella voidaan hinnaksi laskea

$$h_{cog} = E_{cog} \cdot h_{cog,h} = 277,632 \text{ GJ} \cdot 12 \frac{\text{€}}{\text{GJ}} = 3331,584 \text{ €/h}.$$

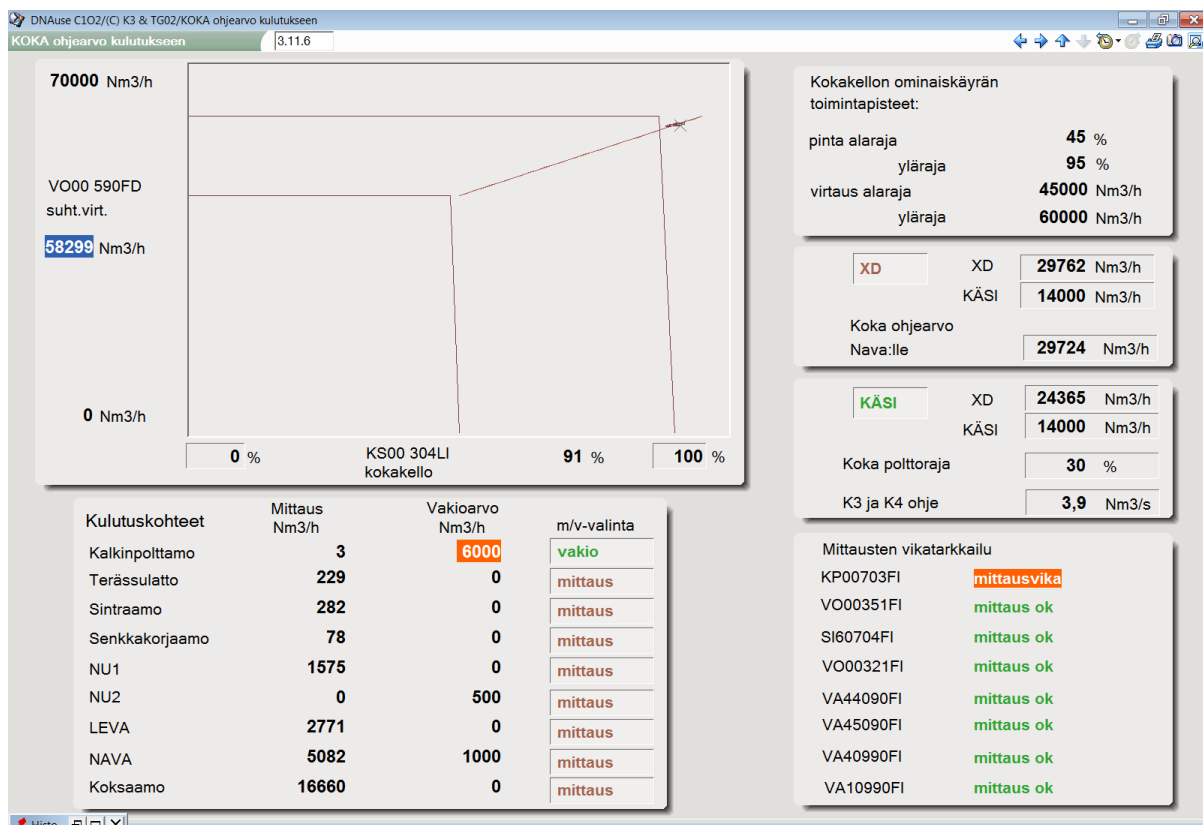
Liitteen 6/1 taulukosta voidaan miltä ajalta tahansa interpoloida koksikaasun hinta tehon funktiona. Kuvassa 24 on koksikaasun tehollisen käytön vaikutus kustannuksiin.



KUVA 24. Koksikaasun tehollisen käytön vaikutus kustannuksiin koksikaasun hinnalla 12 €/GJ

Liitteessä 6/3 on ajanjakson 15.10. - 16.10.2012, johon on hahmoteltu koksikaasun tehojen vaihtelu uuneissa. Pystyakselilla on teho ja vaaka-akselilla hinta, joka riippuu tehon suuruudesta. Kuvaajasta voidaan huomata, että koksikaasu vaihtelee samassa suhteessa kuin nestekaasu. Suuriin vaihteluihin vaikuttaa olennaisena osana koksikaasun tarjonta, jonka säätelee voimalaitos.

Navan APU:lle on määritetty koksikaasukäytön toimintapisteet, jotka näkyvät kuvassa 25. Koksikaasukellon alarajaksi on asetettu 45 %, joka vastaa virtauksen alarajaa 45 000 Nm³/h. Tätä toimintapistettä ei voida alittaa, koska koksikaasua tarvitaan terästehtaan eri toimipaikoissa säännöllisesti. Kaikki tämän toimintapisteen ylijäämää voidaan ottaa käyttöön APU:lle. Jos koksikaasua kulutetaan vähemmän, mitä on tarjolla, eikä voimalaitos pysty polttamaan kaikkea ylijäämää, palaa tällöin koksikaasu fakkeliissa hukkaan. (9.)

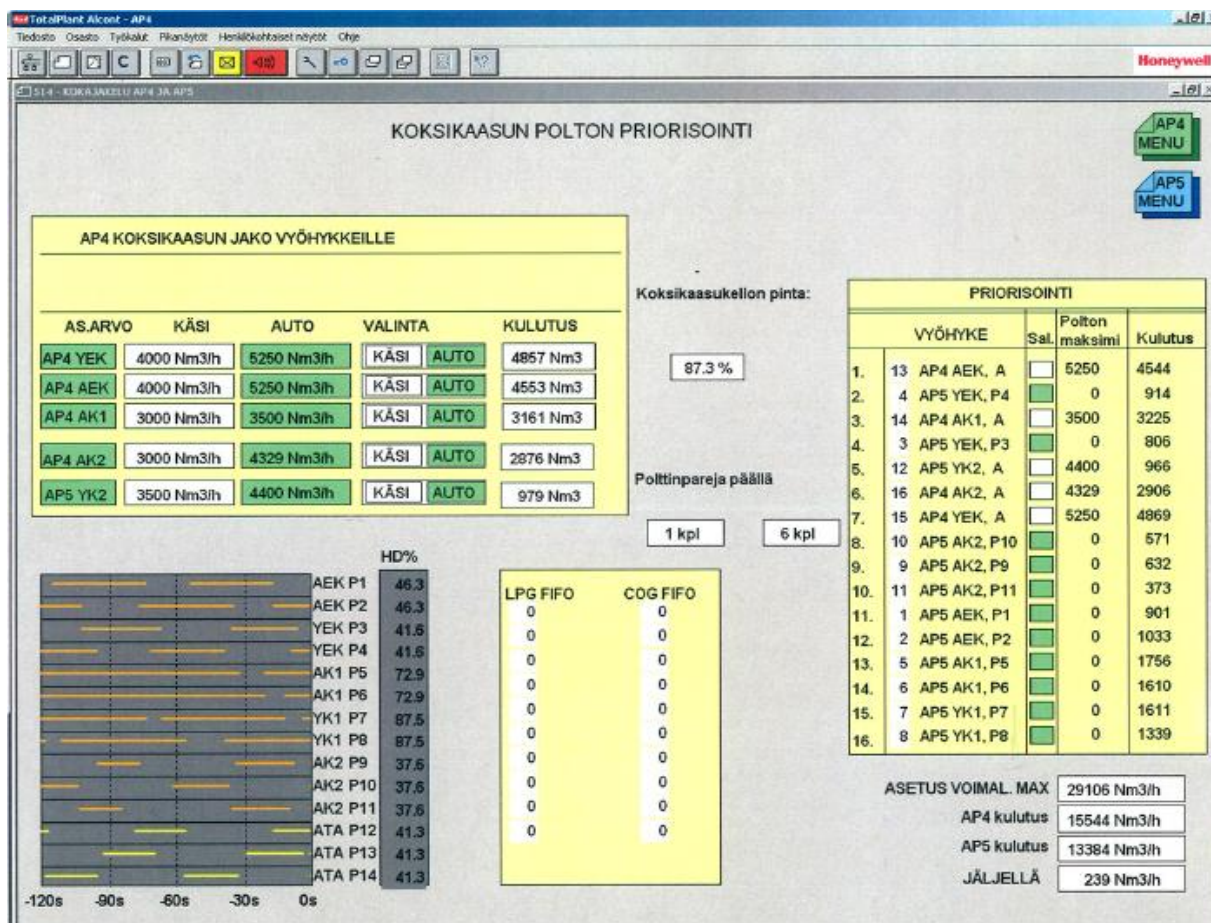


KUVA 25. Koksikaasukellon toimintapisteet (10)

AP-uunit seuraavat tiukasti koksikaasun ohjearvoa nauhavalssaamolle.

Liitteessä 2 on kuvattu koksikaasun ohjearvon vaihtelua yhden viikon ajanjaksolla, josta huomataan, kuinka nestekaasu reagoi koksikaasun ohjearvon suuriin vaihteluihin.

Koksikaasun priorisointi on esitetty kuvassa 26. Tällä hetkellä priorisoinnissa käytetään kuvan 26 oikeassa reunassa olevaa taulukkoa, jossa koksikaasu poistetaan poltosta vyöhykkeittäin alhaalta ylöspäin, mikäli koksikaasua ei ole tarjolla. Jos koksikaasu joudutaan pudottamaan joltakin vyöhykkeeltä pois, poltetaan tällöin tilalla nestekaasua. Tätä järjestystä voidaan muuttaa mieluisaksi ja hakea täten nestekaasupiikkien pienenemistä.



KUVA 26. Koksikaasu polton priorisointi. Pulssituskaaviossa vasemmassa alareunassa on esitetty ap5-uunin poltto; ruskeat viivat koksikaasupolttoa ja keltaiset nestekaasupolttoa vain tasauksella

Priorisointia voidaan verrata sivun 22 kuvan 12 polttimien tehoihin, jossa tällä hetkellä suuri tehoisimmat polttimet vaihtuvat nestekaasu poltolle. Tämä muutettiin siten, että pieni tehoisimmat polttimet kytketään ensimmäisenä nestekaasulle, mikäli koksikaasu ei riitä. Tällä muutoksella haettiin nestekaasupiikkien pienentämistä, jotta kaasujen käytöstä tulisi tasaisempaa, eikä poltossa tapahtuisi niin suuria vaihteluita.

5.3 Vyöhyke kohtaiset kulutukset uuneilla

Aihioille pyritään saavuttamaan tavoitelämpötila ennen tasausvyöhykkeelle tuloa. Liitteessä 4 on esitetty molempien APU:n vyöhykekohtaiset asetusarvot, johon aihiot pyritään kuumentamaan.

5.4 Kaasujen käyttöjen vertailu

Liitteen 8/1 kuvaajasta huomataan, miten kaasut käyttäytyvät voimalaitoksen ja APU:n välillä. Huomataan, että häiriöön tultaessa voimalaitos ei kerkeä reagoida koksikaasun tarjontaan, jolloin useasti koksikaasu kerkeää palaa fakkelissa hukkaan. Sama tilanne huomataan toisin päin eli nauhalinjan käynnistyessä tuotantoon voimalaitos viivästyy koksikaasun polton laskussa aiheuttaen nestekaasun nousun nauhavalssaamalla.

Tähän väliin löydetään helppo ratkaisu. Yhteistyötä voimalaitoksen kanssa ei juuri ole, joten tiedon välitystä pitäisi lisätä. Tiedon kulku voitaisiin hoitaa joko soittamalla tai automaatiolla. Automaation pitäisi toimia siten, että voimalaitoksella olisi tieto, milloin nauhalinjalla alkaa häiriö ja milloin tuotanto lähtee käyntiin.

6 ASKELPALKKIUUNIEN AJO

6.1 Tuotannolliset tekijät

Aihoiden viipymäaika uunissa on vähintään 135 min, riippuen aihion mitoista ja laadusta. Jos uunissa on paljon vaativaa valssauslaatua, joilla kuumennustavoite on muita korkeampi, on läpimenoaika suurempi kuin helpoilla laaduilla. Läpimenoaikaan vaikuttaa laatukohtaiset kuumennustavoitteet, kuten tavoitelämpötila, -tasaisuus, pitoaikavaatimus tietyssä lämpötilassa.

Läpimenoaikaan vaikuttaa myös ajotahdin yleinen vaihtelu, joita ovat linjahäiriöt, suunnitellut valssinvaihdot, muu poikkeava tahti, kuten suorakarkaistavat kelat ja odotteluvaiheet esivalssauksessa.

6.1.1 Häiriöt

Häiriöiden vaikutus on suuri APU:n energiatehokkuuden kannalta. Linjahäiriöitä on käytännössä katsoen mahdotonta ennustaa. Noin 80 - 90 % tuotannon häiriöistä on tiedostamattomia häiriöitä ja loput on tiedostettuja häiriöitä. Kaikki kaasunpoltto menee hukkaan häiriön aikana, joten siksi jokaisesta pitemmästä häiriöstä tulisi ilmoittaa uunille ja voimalaitokselle. Voimalaitos pystyy häiriön aikana hyödyntämään koksikaasun, jolloin vältetään koksikaasun polttoa fakkeliin. Uunimiehet pystyvät asettamaan häiriön pituuden järjestelmään, jolloin HOS laskee vyöhykelämpötila-asetuksia ja uuniautomaatio vähentää kaasujen kulutuksia.

Automaattihäiriössä, eli kun purkausta ei ole tehty 15 minuuttiin, laskee HOS automaattisesti uunin lämpötiloja. Häiriön pituus on tiedettävä suhteellisen tarkasti, jotta aihiot ovat tuotantoon lähdetäessä purkukunnossa. Hyvä keino on kuitenkin ilmoittaa häiriöstä riittävän pitkä. Esim. jos häiriöksi ilmoitetaan tunti eikä tuotanto lähdekään pyörimään heti tunnin jälkeen, tulee tällöin turhaa kaasujen nostoa. Myös hilsettyminen voimistuu, jos häiriöäntoja tulee useita peräkkäin.

Linjahäiriöiden vaikutus onkin yksi tärkeimmistä osa-alueista askelpalkkiuunien energiatehokkaaseen ajoon. Linjahäiriöiden minimoiminen ja tiedottaminen edesauttavat uunien energiatehokkuudessa. Mitä paremmin tiedetään linjahäiriön pituus, sitä tehokkaammin uuneja voidaan ajaa.

6.1.2 Suorakarkaistavat kelat

Suorakarkaistavat nauhat ajetaan 5 minuutin pudotustahdilla, koska nauhan jäähdytystä on seurattava jokaiselle nauhalle erikseen. Suorakarkaistavien ajossa ei huomata selviä kaasunkulutuspiikkejä vaan päinvastoin. Myöhemmin luvussa 6.3 on esitetty rajoitetumman tuotantotahdin vaikutus kulutuksiin, johon tätä voidaan verrata.

6.1.3 Jäähdyteltävät esinauhat

Jäähdyteltävien esinauhojen ajossa uuneja joudutaan ajamaan hitaammin. Jäähdytysaika riippuu valssattavan esinauhan paksuudesta ja laadusta. Jäähdytysaika voi olla korkeimmillaan 200 sekuntia. Jäähdyteltävien esinauhojen ajossa uunin ajotahti hidastuu mikä takaa myös uunin vakaammat lämmöt.

6.1.4 Aihiolaatu ja tavoitelämpötila

Aihiolaadun vaikutus on myös yksi olennainen osa APU:n ajossa. Korkeimpien tavoitelämpötilojen aihiot nostavat kaasujen kulutusta ja hidastavat uunin tahtia. Onkin suotavaa, että saman tavoitelämpötilan omaavat aihiot tulisi panostaa uuniin mahdollisimman peräkkäin, jotta vältetään turhilta kaasujen nostoilta. Yhden yksittäisen korkeatavoitteisen kuumentaminen tavoitteeseen vaatii koko vyöhykkeen lämpötilan nostoa ja muiden aihoiden yllämmityksen.

Jos tuotannonsuunnittelussa tehdään alhaisen tavoitelämpötilan aihioille hyvät lämpötilan alennuspotit, peräkkäisten aihoiden tavoitelämpötilaerot ovat tällöin niin pieniä, että ajo onnistuu hyvin HOS:n mukaan. Toisinaan on tilanteita, joissa optimointilaskenta ei pääse lämpötilatavoitteisiin purkauksessa. Tällöin operaattorin on annettava purkulupa käsin. Tällaisten tilanteiden tiedostaminen luo pohjaa paremmalle suunnittelulle.

6.2 Kuormien vaihtelu

Viikkokuormat, johon perustetaan APU:n ajo, eli määrätään, millä tahdilla uuneja ajetaan, vaihtelevat nauhavalssaamalla tilauskannan mukaan. Nauhavalssaamon maksimituotantotahti on 3 min eli uunien on oltava valmiudessa aihion ulospurkaukseen tällä tahdilla millä tahansa uunitäytöllä. Ainakin pitoajallisesti kuumennus 1 280 °C:seen rajoittaa linjan maksimitahtiajoa. Uuneilla sallittujen maksilämpötilojen erot aiheuttavat sen, että AP5-uuni rajoittaa tahtia maksimijossa jo esikuumennuksella.

Lasketaan muutama esimerkki tilanteesta, jossa viikkokuorma on 30 000t. Tarkistetaan päästäisiinkö tavoitteeseen yhdellä uunilla ajettaessa. Ajatellaan, että tuotannossa olisi vain yksi APU nykyvuorojärjestelmässä ja verrataan tuotantoennustetta 5-vuorojärjestelmään.

Tuotantoennuste (x) voidaan laskea kaavalla 5.

$$x = k \cdot t$$

KAAVA 5

k = valssaustahti (t/h)

t = viikkotunnit (h)

Nykyisessä 4-vuorojärjestelmässä viikkotunneista 32 h on seisakkia. Oletetaan viikkokohtaisista tunneista olevan 15 % tuottamatonta aikaa, joka sisältää linjahäiriöt. Jos yhden uunin maksimikapasiteetti on 300 t/h, joka käsittää täyspitkien (11 800 mm) matalatavoitteisten aihioden ajoa, saadaan viikkokohtaiseksi tuotantoennusteeksi

$$x = k \cdot t \cdot 0,85 = \frac{300t}{h} \cdot (168 - 32)h \cdot 0,85 = 34\,680t/vk.$$

Kuitenkaan tällaista tilannetta ei tule koskaan, vaan oletetaan, että valssaustahti olisi 200 t/h, jolloin viikkokohtaiseksi tuotantoennusteeksi saadaan

$$x = k \cdot t \cdot 0,85 = \frac{200t}{h} \cdot (168 - 32)h \cdot 0,85 = 23\,120t/vk.$$

Mikäli nauhavalssaamalla olisi käytössä 5 - vuorojärjestelmä, sisältäen yhden 8 h seisakin viikossa huoltotoimenpiteisiin, saataisiin viikkokohtaiseksi tuotantoennusteeksi

$$x = k \cdot t \cdot 0,85 = \frac{200t}{h} \cdot (168 - 8)h \cdot 0,85 = 27\,200t/vk.$$

6.3 Ylikapasiteettimalli

Viikkokuormat tiedetään aina parin viikon aikavälillä. Muuten seuraavien viikkojen kuormat ennustetaan, jolloin tiedetään, millä tahdilla uuneja ajetaan.

Ylikapasiteetti tilanteeseen joudutaan joskus, jolloin uunin ajotahtia rajoitetaan sopivaksi viikkokuormasta riippuen. Normaali ajotahti on 3 minuuttia, ja heti kun joudutaan hidastamaan ajotahtia esim. 3,5 minuuttiin, on kyseessä ylikapasiteettimalli. Ylikapasiteettitilanteessa uuneja joudutaan ajamaan luonnollisesti hitaammin. Hitaammassa ajomallissa aihiot viipyvät uunissa kauemmin, joka vaikuttaa suoranaisesti kaasujen kulutukseen, mahdollisesti hilseilyn määrään, tuotantotonneihin ja esinauhan lämpötilaprofiiliin eri viipymä-ajoilla.

Tarkastellaan ajanjaksoa 11.6. - 6.7.2012, jolloin nauhavalssaamalla hidastettiin tuotantotahtia linjan joutuessa ylikapasiteettitilanteeseen. 11. - 13.6.2012 pudotustahtina käytettiin 3,5 minuuttia, 14. - 16.6.2012 4 minuuttia ja 18. - 20.6.2012 4,5 minuuttia. Otetaan tarkasteluun kolmen päivän ajojakso kullekin pudotustahdille, jolloin saadaan suuntaa antava vaikutus uunien kaasujen kulutukseen ja tuotettuihin tonneihin. Taulukkoon 2 on kerätty arvot vtrin-ohjelmasta kolmen päivän ajalta kullekin purkaustahdille.

TAULUKKO 2. Purkaustahdin muutoksen vaikutus tuotettuihin tonneihin ja kaasujen kulutuksiin; ylin 3,5 min, keskellä 4 min ja alin 4,5 min

	Tuotetut tonnit (t)	Vuorokautinen linjahäiriö (h)	lpg kulutus yht. (m3/vrk)	cog kulutus yht. (m3/vrk)	
11.6.2012	6497.1	3.88	35064.128	346856.525	
12.6.2012	5903.5	5.71	30761.793	347410.075	
13.6.2012	6369.9	3.35	32695.359	353201.187	
yht.	18770.5	12.94	98521.280	1047467.787	/3 vuorokautta
14.6.2012	2835.8	3.03	12531.064	289977.257	
15.6.2012	5385	3.27	30589.066	311876.330	
16.6.2012	4208.5	2.09	24029.330	315251.798	
yht.	12429.3	8.39	67149.460	917105.384	/3 vuorokautta
18.6.2012	5054.9	5.06	21490.975	338338.063	
19.6.2012	6006.8	2.58	26404.036	365848.632	
20.6.2012	5332.2	5.34	25491.873	320023.433	
yht.	16393.9	12.98	73386.884	1024210.128	/3 vuorokautta

Taulukon 2 mukaan voidaan laskea nestekaasun kulutus tonnia kohden (V_t) kaavalla 6.

$$V_t = v/m$$

KAAVA 6

v = kaasun virtaus (m^3/h)

m = tuotetut tonnit (t)

Verrataan 3,5 minuutin purkaustahtia 4,5 minuutin purkaustahtiin ja lasketaan säästö.

Nestekaasun kulutus tonnia kohden 3,5 minuutin tahdilla on

$$V_{t,lpg} = \frac{v_{lpg}}{m} = \frac{98\,521,280 m^3}{18\,770,5 t} = 5,24873 \frac{m^3}{t} \approx 5,25 \frac{m^3}{t}.$$

Nestekaasun kulutus tonnia kohden 4,5 minuutin tahdilla on

$$V_{t,lpg} = \frac{v_{lpg}}{m} = \frac{73\,386,884 m^3}{16\,393,9 t} = 4,47648 \frac{m^3}{t} \approx 4,48 \frac{m^3}{t}.$$

Laskelman mukaan 4,5 minuutin purkaustahti vähentää kolmen päivän testijakson perusteella nestekaasun kulutusta noin $0,8 \text{ m}^3/\text{t}$.

Taulukosta 2 voidaan huomata, että purkaustahdin muutoksella ei ole näennäistä vaikutusta koksikaasun kulutukseen. Sen sijaan nestekaasun kulutuksessa voidaan huomata selvä ero, sillä 3,5 minuutin purkaustahdistä muutos 4,5 minuutin purkaustahtiin nestekaasun kulutus saadaan vähenemään selvästi. Kolmen päivän testijakson perusteella 4,5 minuutin purkaustahdilla verrattuna 3,5 minuutin tahtiin vähenee nestekaasun kulutus noin $25\,100 \text{ m}^3$ ($98\,521,280 \text{ m}^3 - 73\,386,884 \text{ m}^3$). Aikaväli 14.6. - 16.6.2012, jolloin siis käytettiin purkaustahtina 4 minuuttia, ei ole täydellisen käypä tähän vertailuun, koska tämä ajanjakson on sisältänyt tuottamatonta aikaa yhteensä 16 tuntia. Tämä aikaväli otettiin, koska ajan puitteissa ei löytynyt aikaväliä, jolloin olisi ajettu 4 minuutin purkaustahdilla tasaisella käytöllä.

Liitteessä 7/1 on esitetty nestekaasun kulutus tuotettujen tonnien funktiona 3,5 minuutin purkaustahdille ja 4,5 minuutin purkaustahdille. Lisäksi liitteessä 7/2 on samojen aikavälien otannat tunnin välein. Kuvaajista voidaan huomata, että 3,5 minuutin purkaustahdilla nestekaasun kulutus heittelee huomattavasti enemmän kuin 4,5 minuutin purkaustahdilla. Pitempää ajanjaksoa olisi vaadittu tutkintaan, jotta voitaisiin tarkemmin tulkita neste- ja koksikaasukulutukset.

Tietenkin näinkin suureen muutokseen voi vaikuttaa uunin aihiosisältö. Jos esim. aikavälillä 11. - 13.6.2012 uunissa on ollut vaativampia aihioita korkeammilla tavoitelämpötiloilla, on jouduttu tällöin tasausvyöhykkeellä käyttämään nestekaasua enemmän saavuttaakseen tasaisemman lämpötilan. Kuitenkin mitä kauemmin aihiot viipyvät kuumennusvyöhykkeillä, sitä vähemmän aihion tarvitsee viipyä tasausvyöhykkeellä.

6.4 AP-uunien energiatehokkuuden parantaminen

Taulukkoon 3 on haettu toteutuneita keskimääräisiä tuntuotantoja, ominaiskulutuksia ja nestekaasun osuudet käytetystä energiasta eri ajomalleilla.

TAULUKKO 3. Ajomallien kustannusvaikutuksia

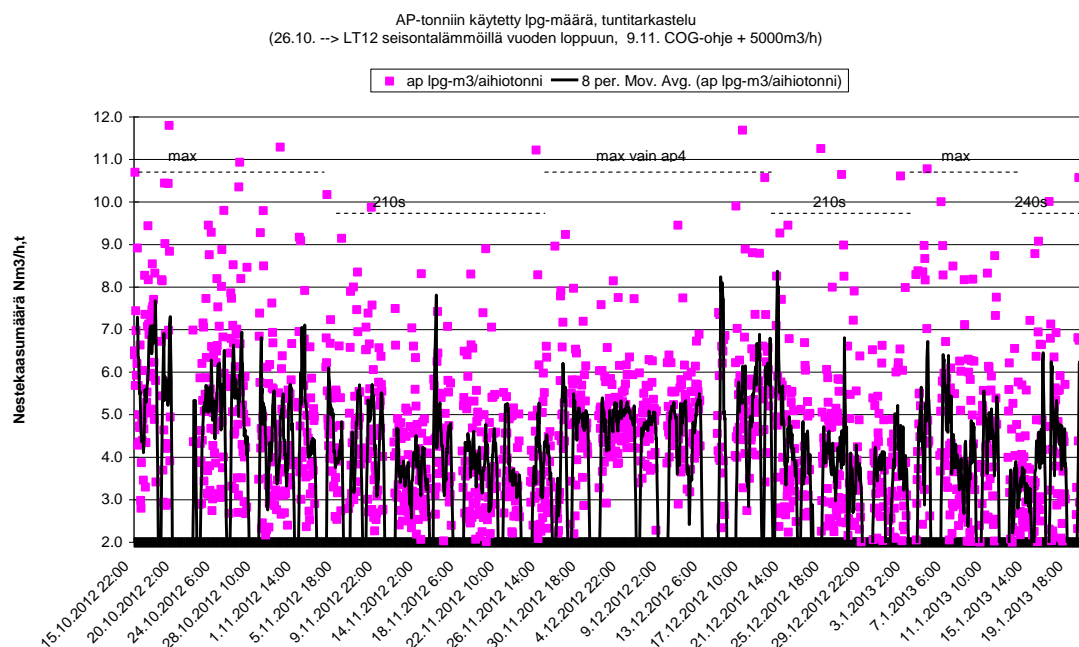
Tarkastelujaksot vuonna 2012	purkuväli, min	t/h	GJ/t	lpg- osuus	ajomallin hin- tavaikutus/h	suhteellinen hinta
3 min max- kesäkuu	3	360	1.175	0.35	497	1.00
3.5 min max lo- kakuu	3.5	350	1.25	0.35	514	1.03
rajattu max-210s- marraskuu (LT12 seisontalämmöt)	3.75	300	1.27	0.26	396	0.80
4 min-kesäkuu	4	300	1.21	0.33	416	0.84
4,5 min-kesäkuu	4.5	280	1.325	0.27	391	0.79
TEOR kokonaan nestekaasulla 3 min max-kesäkuu	3	360	1.175	1	635	1.28
5.5min ap4- yksinajo-joulukuu	5.5	210	1.33	0.34	327	0.66

Ajomallin kustannusvaikutusta tilanteessa, jossa nestekaasun hinta on 1,5-kertainen koksikaasun hintaan, on laskettu kaavalla

$(\text{lpg-osuus} * 1.5 + (1 - \text{lpg-osuus}) * 1) * \text{ominaiskulutus GJ/t} * \text{tuntuotanto t/h}$

Tuotantoa kannattaa ajaa viikkokuorman salliessa 3,75 - 4,5 min tahdilla, jolloin kustannus on 15 - 20 % alhaisempi. Vakaassa ajossa ominaiskulutus kasvaa, mutta nestekaasuosuus vähenee. Reagointi purkausvälimuutoksiin jää pois,

vaativammat aihiot saavat aikaa lämmetä enemmän, lämmitystarvehuiput minimoituvat ja harvenevat tasaisen pudotusväli ajossa. Kuvassa 27 on kuumennuksessa käytetyn nestekaasumäärä aihiotonnia kohden.



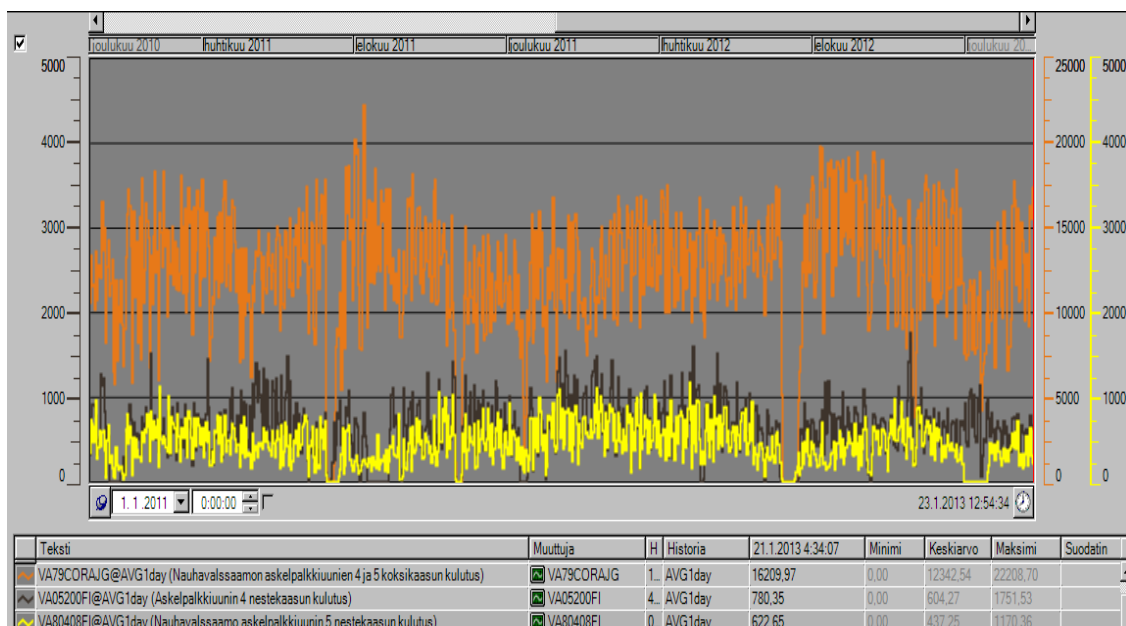
KUVA 27. AP-uuneilla kuumennuksessa käytetty nestekaasumäärä aihiotonnia kohti tuntitarkasteluna

Työn kuluessa syksyn mittaan tehtiin uuniajon testejä ja otettiin käyttöön uuniajon parannustoimia seuraavasti:

19.9.2012 Yhtenäistettiin maksimilämpöjä AP5//kuumennus 1 lisää:
maksimilämpötilaksi asetettiin 1 300 °C.

16.10.2012 AP5-uunilla suoritettiin pakotetun koksipolton testi levyvalssaamon remonttipäivänä. Testissä estettiin tarpeeton vaihtaminen hetkittäin koksikaasulta nestekaasulle valitsemalla vain koksikaasu AP5-kuumennuksille. Ohjearvon ylittäminen yhdessä levyvalssaamon käyttöhuipun kanssa ajoi koksikaasukellon pinnan hälytysrajalle ja jouduttiin paniikkiratkaisuna ottamaan AP4-uunilta koksipolttoa pois. Kuvassa 28 on esitetty vuoden 2012 AP-uunien kaasunkäytöt vuorokausikeskiarvoina. Musta trendi kuvaa AP4-polttoa ja

isoimmat piikit em. kaltaisista hätäkorjauksista, joissa poltto vaihdetaan kiinteästi nestekaasulle joksikin aikaa.



KUVA 28. AP-uunien kokonaiskoksikaasun ja uunikohtaisten nestekaasujen vuorokausikeskiarvot vuosina 2011 - 12

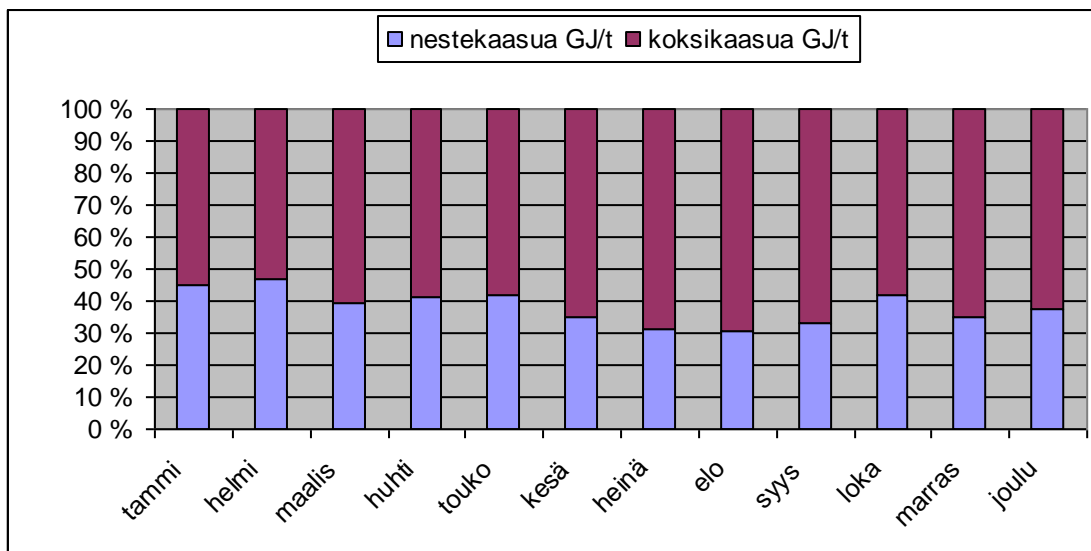
9. 11.2012 Koksikaasun polton ohjearvon ylärajaa nostettiin + 5 000 m³/h. Tarjonta korkeampi eli ei vaihdeta liian aikaisin nestekaasulle.

14.11.2012 Ohjearvon nosto myös kellon alarajalla + 2 000 m³/h

13 - 14.11.2012 Uunin täytössä otettiin käyttöön ns. 9-uunitus. Uunivalinta tehdään vasta ennen panostusta ja uunituksiin ei tule aukkoja, jos aihioita jää pois suunnitellulta jaksolta. Huono uunitus heikentää t/h-kapasiteettia ja luo ylimääräisiä kuumennuspiikkejä kuormittaen hetkellisesti vain toista uunia.

Kaasukuvaajista nähdään aina elokuun alussa korkeammat koksikaasun käyttötasot. Koksikaasun käyttöön vaikuttivat levyvalssaamon vuosihuolto elokuun alussa, sekä yhden läpityöntöuunin ajo levyvalssaamolla vuonna 2012 elosyyskuu ja marras-joulukuu. Nestekaasun osalta huiput ovat vähentyneet ja tasot madaltuneet.

Koksikaasun osuus on noin 60 % kuumennuksessa käytetystä energiasta. Tätä isompi osuus on mahdollinen, jos läpityöntöuuneja on pois käytöstä tai ajetaan vain AP5-uunia. Kuvassa 29 on esitetty AP-uunien vuoden 2012 kaasujen prosentuaaliset osuudet.



KUVA 29. Käytetyt kaasuosuudet AP-kuumennuksessa kuukausittain vuonna 2012 tehtaan energiaraportin mukaan

6.5 Ajomallitesti

21.11.2012 askelpalkkiuuneilla testattiin tasausvyöhykkeen tyhjentämistä häiriössä. Tiedettiin häiriön alkavan n. klo 7:30, jolloin panostus lopetettiin klo 6:46. Järjestelmään annettiin viimeisen aihion tiedot, joka valssataan, jolloin HOS laski automaattisesti lämmityskäyrää. Viimeisen aihion pudottua uunista, peruutettiin aihiot takaisin uunin panostuspäähän tarkoituksena jättää pelkästään tasausvyöhykkeet tyhjiksi.

Häiriön tiedettiin loppuvan klo 9:30, joten uunia alettiin panostamaan klo 9:01. Voimalaitokselle soitettiin klo 9:05 ja pyydettiin vähentämään koksikaasun polttoa $5 \text{ m}^3/\text{s}$ -> $2 \text{ m}^3/\text{s}$. Tällä pyrittiin välttämään nestekaasun nousua uuneilla. Liitteessä 8 on vertailuun otettu ennakoimattoman häiriön, joka on ajanjaksolta 16.11.2012 klo 13 - 19, ja ennakoidun, aikaväliltä 21.11.2012 klo 06 - 12, häiriön vaikutus kaasujen tarpeeseen.

Ennakoituun häiriöön tultaessa huomataan, että koksikaasun poltto n. 30 minuuttia ennen häiriön alkua vähenee. Tästä olisi pitänyt ilmoittaa voimalaitokselle, jolloin voimalaitos olisi voinut kytkeä aikaisemmin koksikaasupolton päälle. Jos ilmoitusta ei tapahdu, kerkeää tällöin koksikaasu palaa fakkelissa muutamia minuutteja.

Huomattava ero voidaan todeta AP5-uunin häiriön jälkeisessä nestekaasun kulutuksessa. Eroa voidaan selittää yhteistoiminnalla voimalaitoksen kanssa, jolloin kulutuksien optimointiin voidaan vaikuttaa jopa yhdellä puhelin soitolla. Ennakoimattomassa häiriössä nestekaasun kulutus nousee todella korkeaksi, koska voimalaitos on polttanut koksikaasua eikä sinne ole välittynyt tietoa nauhalinjan häiriön loppumisesta. Kun taas ennakoitiin häiriön loppuminen, tällöin voimalaitos laski koksikaasun kulutusta vaikuttaen suoraan AP-uunien nestekaasun kulutukseen, jolloin saavutettiin korkeampi koksikaasun tarjonta uuneille.

Yhteenvetona voidaankin todeta, että APU:n energiatehokkuus on suoraan kytkennässä voimalaitokseen. Lisäksi levyvalssaamon läpityöntöuunien koksikaasun kulutus vaikuttaa suoraan nauhavalssaamon APU:n koksikaasun kulutukseen. Mikäli levyvalssaamo käyttää paljon koksikaasua, on tällöin koksikaasun tarjonta nauhavalssaamon APU:lta pois.

6.6 Vuorojen väliset vertailut

Nykyisessä pitkälti automatisoidussa prosessissa uunimiehen tärkeimpänä tehtävänä on seurata panostusta ja aihiomaton liikettä, kaasujen seuranta koksikaasukellon pinnasta ja koksikaasun ohjearvosta nauhavalssaamolle, uunien lämpötiloja sekä erinäisten prosessiin liittyvien laitteiden toimintaa. Vuorojen välisistä eroavaisuuksista onkin hankala todeta poikkeamia, koska uuni toimii hyvin tarkasti automaation perässä. (14.)

6.7 Jatkotoimenpiteet

Energiatehokkuuden parantamiseen vaaditaan yhteistyötä navan ja voimalaitoksen kanssa. Informointi linjahäiriöiden alusta ja lopusta voisi toimia hyvinkin yksinkertaisella automaatiolla. Voimalaitoksella olisi hyvä olla seuranta

navan häiriöstä, josta olisi hyötyä molempiin suuntiin. Häiriön alettua voimalaitos pystyy kytkemään koksikaasupoltton päälle, jolla vältetään koksikaasun palamista fakkelissa. Häiriön loputtua voimalaitos vähentää koksikaasunpolttoa, jolla vältetään APU:n nestekaasun jyrkkää nousua.

Kuumennustehohuippuihin käytetään nestekaasua. Maksimitahtiajo on suositeltavin tilanteissa, joissa koksikaasua on tarjolla normaalia enemmän kuten levyvalssaamon huoltopäivät.

Loggeriaihiomittaus, jossa mitataan aihion todellista lämpötilaa uunin matkalla, on suoritettu viimeksi 15.11.2005. Loggerimittauksella voitaisiin selvittää käytetäänkö kaasuja liikaa ja kuinka paljon virhettä uunin optimointijärjestelmän laskennassa todella on. Markkinoilta löytyisi tähän tarkoitukseen erinomaisia dataloggereita, kuten saksalaisen yhtiön Datapaq GmbH dataloggereita. Lisätietoja näistä loggereista saa Sintrol OY:stä.

Aihiolämpötilat nyt toteutuvina uuniasteina ovat linjalle hyviä.

Kuumennustavoitteita ollaan perusvalssattavilla alentamassa ja yleisimmin tavoitelämpötilassa toleranssi on ± 20 °C. Kuumennustoteumaa seurataan esinauhan lämpötilasta. Ajoittain kovalla tuotantotahdilla esinauhan lämpötilataso laskee häntäosalla. Uunilaskennan optimistisuus, eli laskee hieman nopeampaa kuumenemistä kuin todellisuudessa ja riittävä esinauhan lämpötilataso on korjattu pitoaikavaatimuksella kriittisillä laaduilla. Yhden uunin ajossa laskennan hyvyys punnitaan. Loggerimittaus on totta sen hetkisissä olosuhteissa, mutta laskennan tulee selviytyä kaikista tilanteista riittäväällä tarkkuudella. Loggerimittaukset uunien kautta voisivat antaa informaatiota, jolla yhdenmukaistaa uuniajoa lisää.

AP4-uunissa aikaisempi kuumentaminen verrattuna AP5-uunin esikuumennusten rajattuihin lämpötiloihin (rekuperaattorin suojaus) puoltaa sijaansa sillä, että kuumennuksen painopiste ei ole vain nestekaasukäyttöisillä vyöhykkeillä. Esinauhan lämpötilan tarkempi tutkiminen voi antaa ajatuksia, miten kehittää uunien rinnanajoa edelleen.

7 YHTEENVETO

Askelpalkkiuunien koksikaasun polttoon vaikuttavat monet eri tekijät. Käytettävissä olevaan kaasumäärään eli koksikaasun polton ohjearvoon vaikuttavat erityisesti voimalaitoksen ja levyvalssaamon läpityöntöuunien kaasun käyttötasot. Kaasujen määrä ahiokuumennuksessa määräytyy energia-tarpeesta, jolla kuumennetaan tavoitelämpötilan mukaisia aihioita linjalle halutulla tahdilla. Kustannusten hallintaan vaikuttaa erityisesti nestekaasun osuus kuumennusenergiasta. Optimointijärjestelmän ohjaama kuumennus ja uuniautomaation poltto-ohjeen mukainen koksikaasukäyttö ovat kaasujen hallinnan kulmakivet. Tavoitelämpötilat tulee pitää mahdollisimman alhaisina.

Nykyinen taso 60 % koksikaasua käytetystä energiasta sisältää käytännöt uunien lämmönnostoista, seisokkipäivinä pelkästään koksikaasulla ja häiriönannot tuotantoaikana. Hyvää työtä uunilla on jatkettava päivästä toiseen. Koko uunialueen toiminnallisuuden ylläpito panostuksesta purkaukseen on energiatehokkaan ajon perusta.

Häiriön aikaista kaasupolttoa voidaan edelleen minimoida ottamalla käyttöön ennakoitu häiriö suunnitelluissa seisokeissa. Yllättäen tulevissa linjahäiriöissä annetaan paras mahdollinen arvio häiriökestosta ja sitä noudatetaan. Tarvittaessa tuotannon maksimitahtia rajataan häiriöstä toivuttaessa.

Tuotantoajossa nestekaasuhuippujen minimointi tarkoittaa uunin purkausvälin rauhoittamista. Näin vältetään osa kuumennushuipuista ja on mahdollisuus hyödyntää koksikaasutarjontaa koko ajan. Purkaustahdilla 3,75 - 4,5 min saadaan 15 - 20 % kustannushyöty kaasukustannuksissa, jos viikkotuotantotavoite kyetään toteuttamaan maksimitahdin sijaan. Yhden uunin kapasiteetin riittäessä tuotanto kannattaa ajaa koksikaasupolton maksimoivan AP5-uunin kautta. Purkaustahdin vaikutusta myös esinauhan lämpötilaan on tutkittava lisää ja peilattava uunieroihin kuumennuksessa.

Nauhalinjan häiriöistä välitetään tieto voimalaitokselle, jotta siellä on ajanmukainen tieto käytössä ja reagoidaan tilanteeseen ja voidaan kehittää koksikaasupolton ohjausta. AP-uuneille saadaan tietoon omat ja muiden käyttäjien polton tasot ja trendit, joiden suunnittelu on aloitettu.

LÄHTEET

1. Ruukki Metals konsernin osa-alue. 2011. Rautaruukki Oyj. Saatavissa: <http://www.ruukki.fi/Tietoa-yhtiosta/Konsernirakenne/Ruukki-Metals>. Haettu: 8.6.2012.
2. Raahen tehtaan prosessikaaviot. 2010. Power Point -esitys. Raahen Rautaruukki Oyj.
3. Torvikoski, Tarja 2006. Hilseen määrään vaikuttavat tekijät Raahen terästehtaan askelpalkkiuuneissa. Oulun yliopisto. Kandidaatintyö
4. Seppänen, Anne 2008. Development engineer. Askelpalkkiuunit. Power point-esitys. Raahen Rautaruukki Oyj.
5. Jaako, Lauri 2011. Senior development engineer. Aihoiden kuuma-panostus. Vaativien terästen jatkuvavalmis. Power point-esitys. Ruukki Metals Oy.
6. Jaako, Lauri 2011. Senior development engineer. Nauha-aihioiden kuumapanostus. Power point-esitys. Ruukki Metals Oy.
7. Seppänen, Anne 2011. Development engineer. Kuumennuksen optimointi. Pdf-tiedosto. Ruukki Metals Oy.
8. Seppänen, Anne 2012. Development engineer, Ruukki Metals Oy. Sähköpostikeskustelu uunien asetusarvoista 8.5.2012.
9. Kinnunen, Kimmo 2012. Development manager. Raahen voimalaitos ja IED/TNP. Power point-esitys. Ruukki Metals Oy. 1.6.2012.
10. Jaako, Lauri 2012. Senior development engineer, Ruukki Metals Oy. Sähköpostikeskustelu nauha-aihioiden toiminnasta. 25.9.2012.

11. Jortama, Veli-Pekka 2012. Development technician, Ruukki Metals Oy.
Kaasujen käyttö vuonna 2011. 18.9.2012.
12. Seppänen, Anne 2007. Development engineer, Ruukki Metals Oy.
Poltintekniikka Raahen askelpalkkiuuneissa.
13. Paananen, Pekka 2012. Production planner, Ruukki Metals Oy.
Keskustelu jaksosuunnittelusta. 22.10.2012.
14. Siermala, Vesa 2012. Furnace operator, Ruukki Metals Oy. Keskustelu
askelpalkkiuunien ajomalleista. 30.10.2012.
15. Kinnunen, Kimmo 2012. Development manager, Ruukki Metals Oy.
Keskustelu kaasujen käytöistä ja arvoista. 5.10.2012.
16. Halko, Pekka - Härkönen, Sakari 1998. Teollisuuden mittaustekniikka.
6-7.painos. Helsinki: Oy Edita Ab.
17. Raiko, Risto – Kurki-Suonio, Ilmari 1995. Poltto ja palaminen. Jyväskylä:
Gummerus Kirjapaino Oy.
18. Seppänen, Anne 2012. Development engineer, Ruukki Metals Oy.
Henkilökohtainen tiedonanto. 1.10.2012.
19. Kinnunen, Kimmo 2011. Development manager. Energia-asiat
valssaamon ohjausryhmä. Power point-esitys, Ruukki Metals Oy.
20.4.2011.
20. Untinen, Jorma 2012. Development engineer. Nauhan askelpalkkiuunien
optimointijärjestelmän perustoiminnot. Power point-esitys, Ruukki Metals
Oy.

LIITTEET

Liite 1 Lähtötietomuistio

Liite 2 Koksikaasun ohjearvon vaikutus nestekaasun kulutukseen (vtrin)

Liite 3 Kaasujen seurantaohjelma (vtrin)

Liite 4 Vyöhykekohtaiset asetukset

Liite 5 Valssausjaksonsuunnittelu

Liite 6 Kaasujen kulutukset

Liite 7 Pudotustahdin vaikutus nestekaasun kulutukseen

Liite 8 Häiriöiden vaikutus kaasujen kulutuksiin



MUISTIO

TU Kuv H. Kaisto

22.3.2011

MARKO STÄNGIN OPINNÄYTETYÖN LÄHTÖTETOMUISTIO**Työn aihe**

Opinnäytetyön alustava otsikko on "Nauhavalssaamon askelpalkkiuunien energiatehokas ajomalli"

Työn kuvaus ja tavoitteet

Työssä kartoitetaan mahdollisuudet askelpalkkiuunien nykyistä energiatehokkaampaan ajomalliin. Erityishuomiota kiinnitetään uunin ylikapasiteettitilanteisiin.

Työn tavoitteena on vahvistaa jo tiedossa olevat ajatukset ja kehitysideat uunien energiatehokkaammasta ajomallista sekä luoda pohja energiatehokkuuden edelleen kehittämiseksi. Työssä havaitut kehitysideat pyritään ottamaan käytäntöön mahdollisuuksien mukaan jo työn aikana yhteistyössä tuotanto-organisaation henkilöstön kanssa.

Aikataulu

Perehtyminen aiheeseen 2.4 alkaen kesämestarin työn ohessa. Kesälomituskaudella työhön voi käyttää työaikaa täyspäiväisesti arviolta kuukauden ajan.



Varsinainen opinnäytetyösopimus tehdään ajalle 1.9.2012 - 30.11.2012.

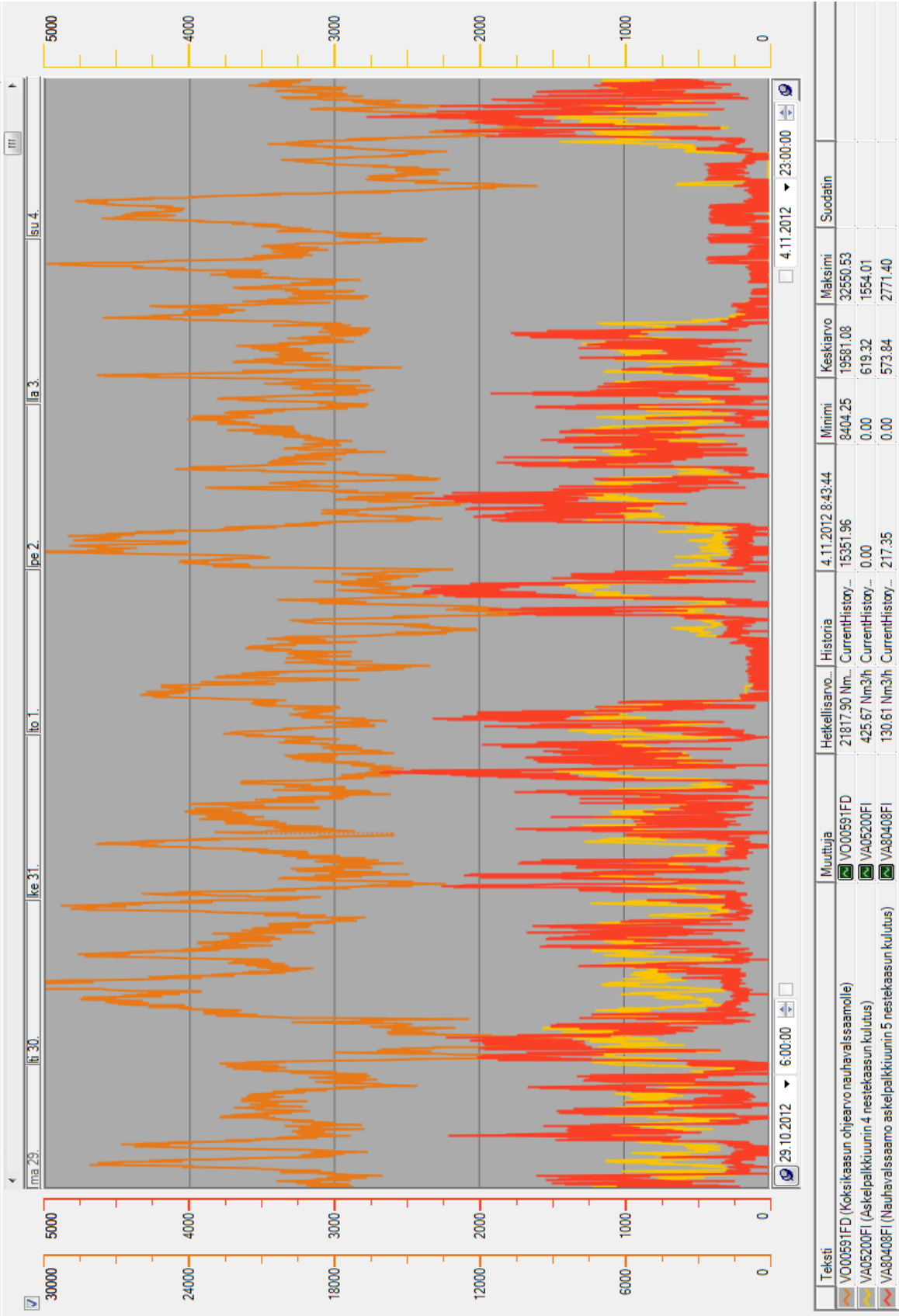
Työn ohjaus

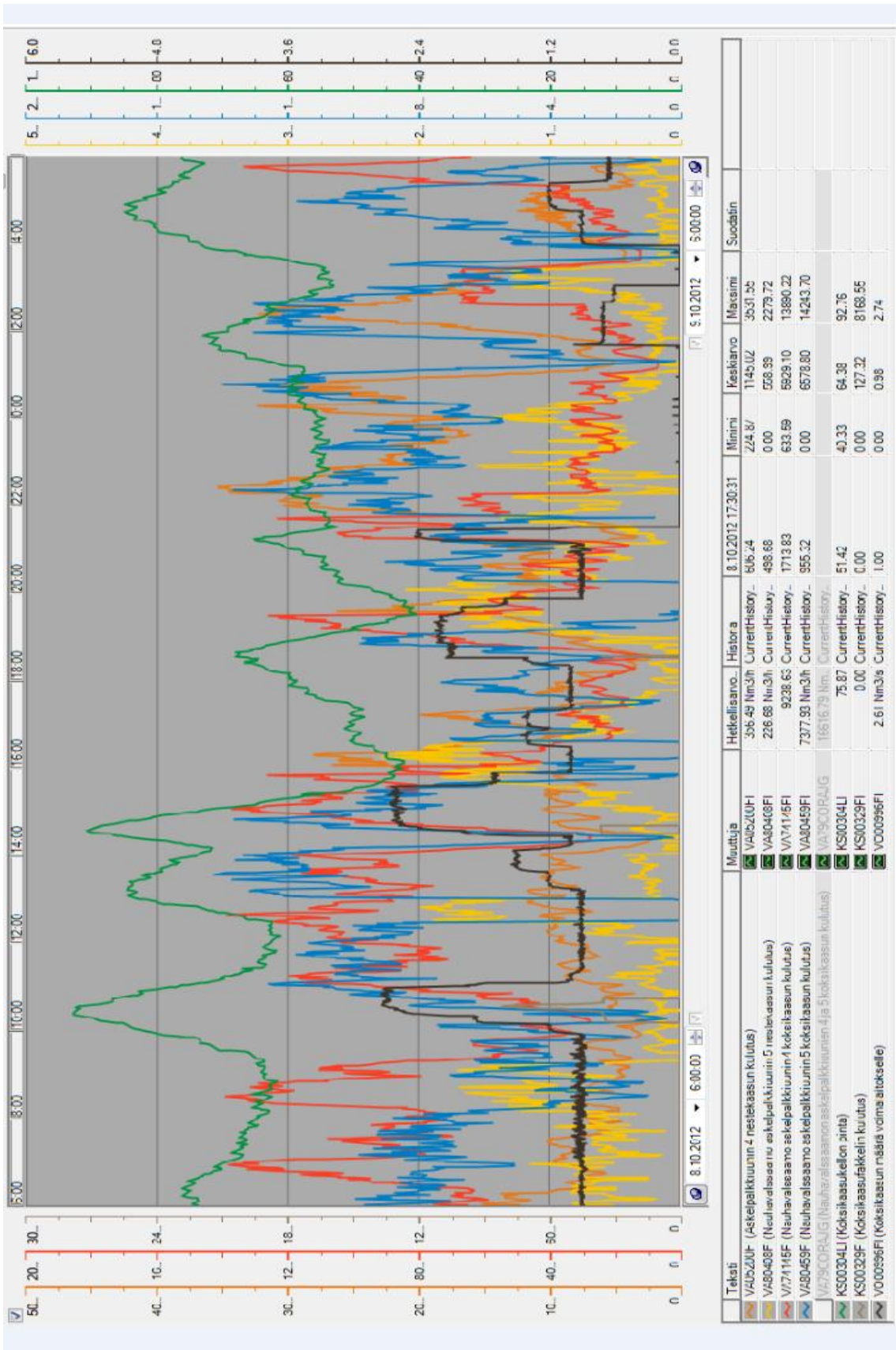
Työn ohjaajana toimii Anne Seppänen (p. 040-844 3032) ja valvojana Harri Kaisto (p.040-844 3054).

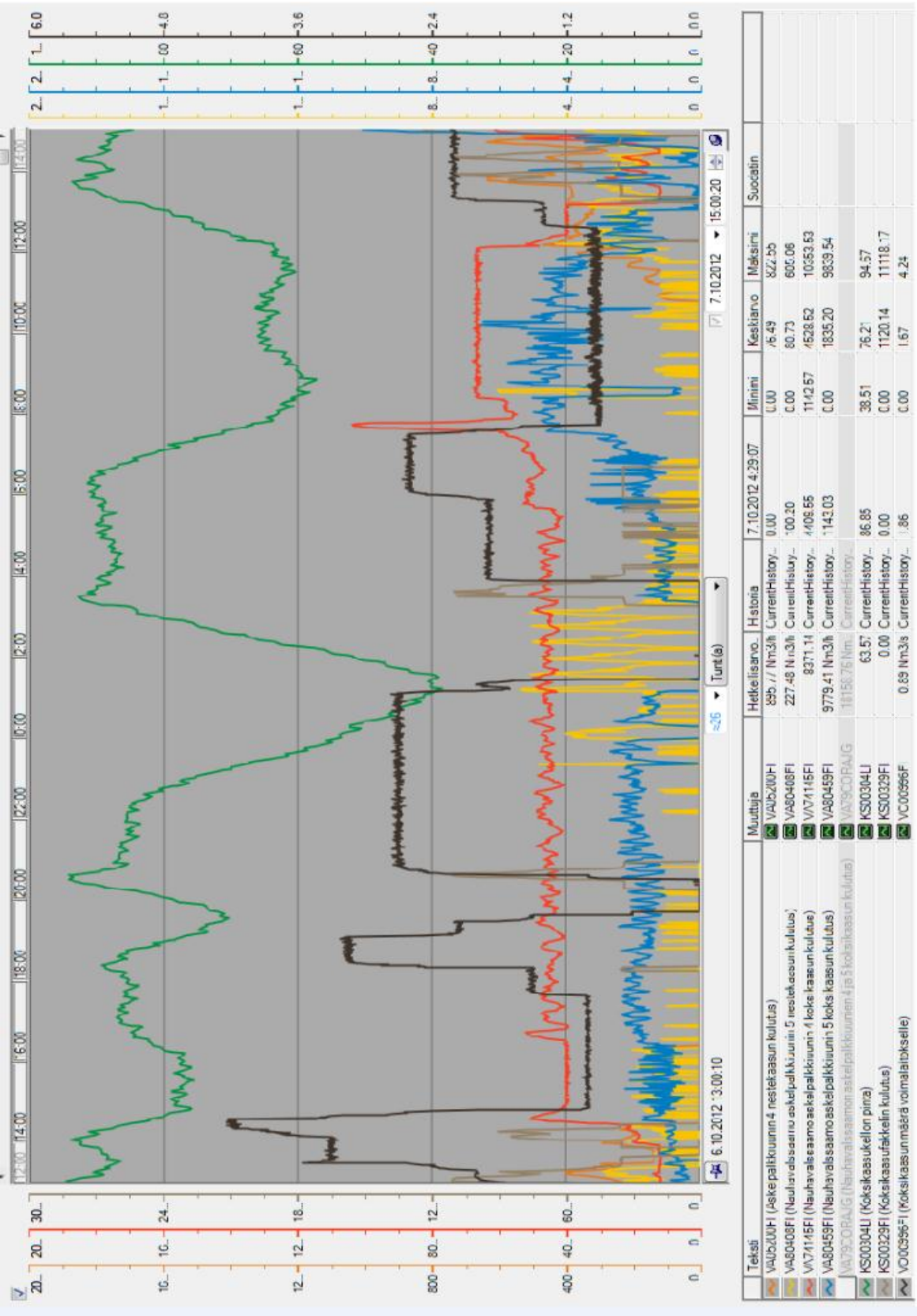
Paikka ja aika

Raahe 22.3.2012


Tekijän allekirjoitus
Tilaaajan allekirjoitus







<

TotalPant Alcont - AP4

Tiedosto Osoite Työkalut Pikanäytöt Henkilökortitaset näytöt Ohje

515 - YLEISNÄYTÖT AP5

AP5

Tuotanto
 1.10 bar
 Ilma/kaasu
 1.30

LPG asetusarvo
 1.10 bar
 1.00 bar
 1.30

AJOTAPA: TUOTANTOAJOK

LPG: 1.15 bar
COG: 44.6 mbar
ES.ILM: 50 mbar
ILMA: 103.9 mbar

AP5 uunin teho
 65.8 MW
28593 OKT:n energiankulutus

COG-kellon pinta:
 89.0 %
COG paine:
 154 mbar

S	8 - 10	S	5 - 7	S	3 - 4	S	1 - 2
ATA	YTE	YTP	AK2	AK1	YK1	AEK	YEK
1271	1261	1268	1319	1295	1300	1056	1110
1111	1200	1200	1180	1240	1240	1000	1000
1250	1272	1269	1289	1322	1301	1072	1136
1251	1265	1276	1289	1316	1273	1043	1077
1251	1268	1273	1289	1319	1287	1057	1107
1251	1272	1276	1289	1322	1301	1072	1136
ATE 1271	ATP 1270	1251	1059	802	3152	2609	2614
154	14	22	0	0	1	0	0
3858	374	579	5283	4237	18226	15116	12446
1.02	1.02	1.02	1.04	1.06	1.02	1.02	1.02
	6.1	4.6	4.0		3.5		4.0
0.10							
0.00							
464							
758							
388							

PULLIPOLTO aikajana
 798
 740
 765

KOKSIKAASU TIEDOT

YT	YK2	YK1	YEK
AT	AK2	AK1	AEK

VAPAA HAPPI %
 UUNIN PAINE A.A.
 UUNIN PAINE M.A.

POLTTOILMAN LT
 SAVUKAASUN LT ENNEN RECUP
 SAVUKAASUN LT JÄLK RECUP

ASETUS VOIMAL MAX
 AP4 KULUTUS
 AP5 KULUTUS
 JÄLJELLÄ

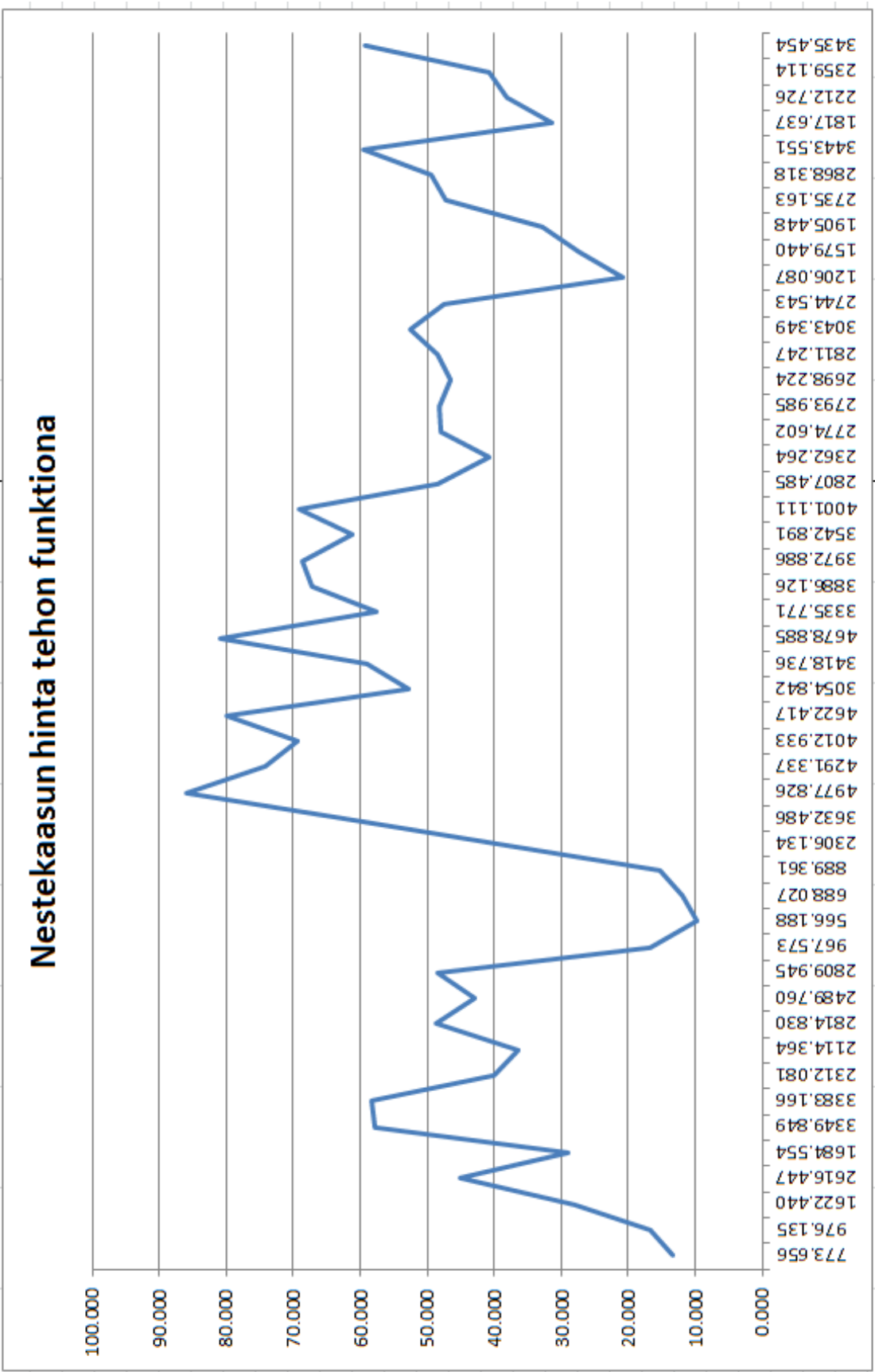
29197 NM3/H
 14101 NM3/H
 13391 NM3/H
 1746 NM3/H

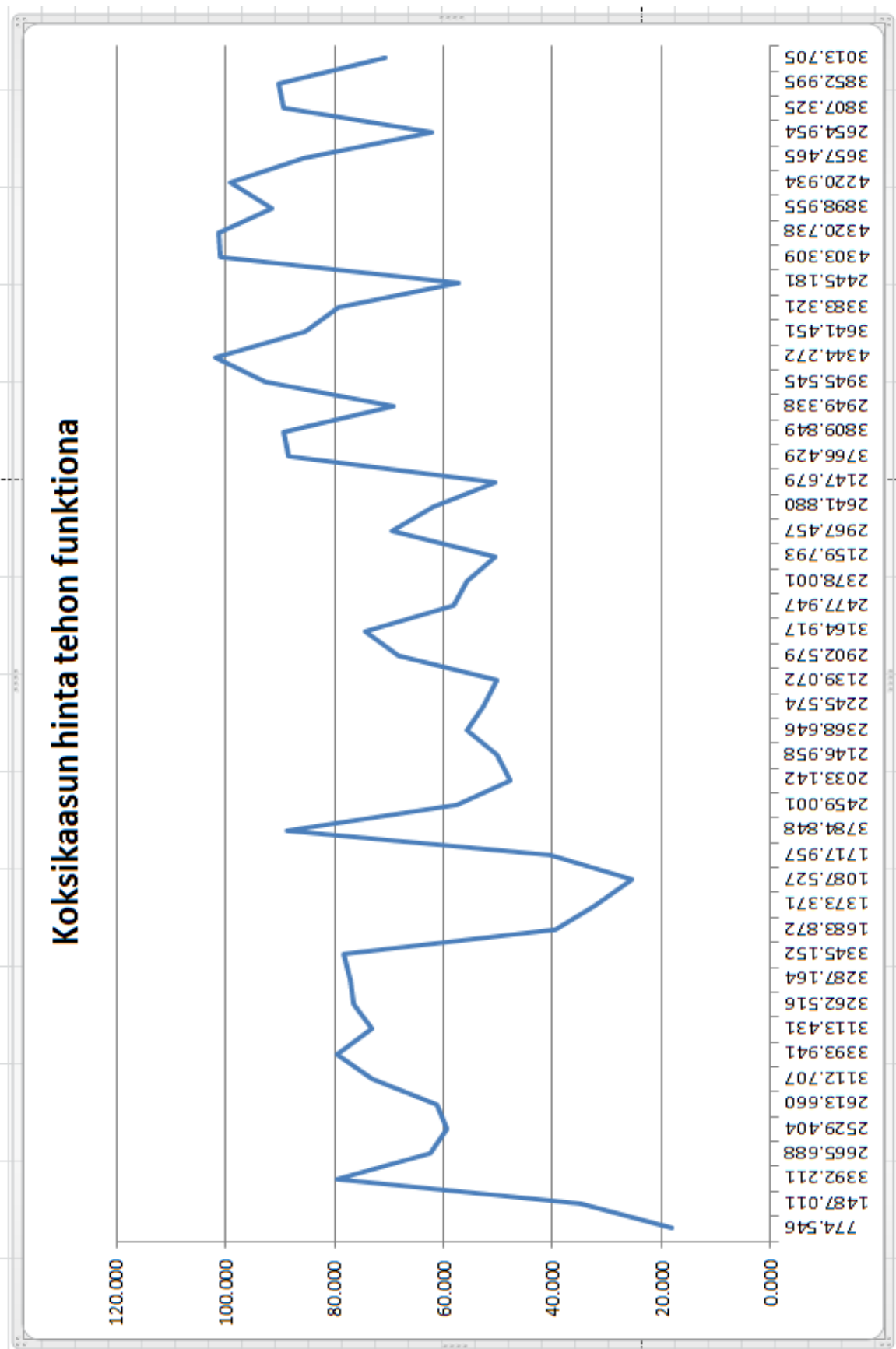
KOKSIKAASUTIEDOT

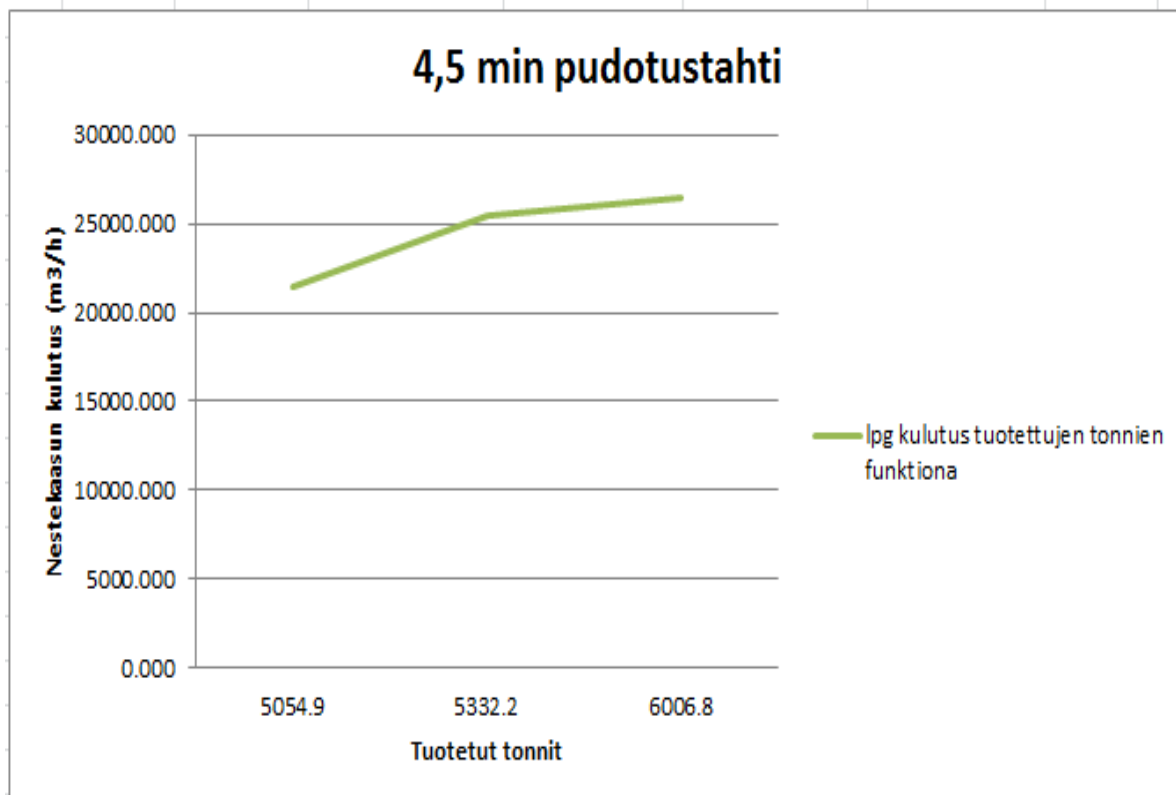
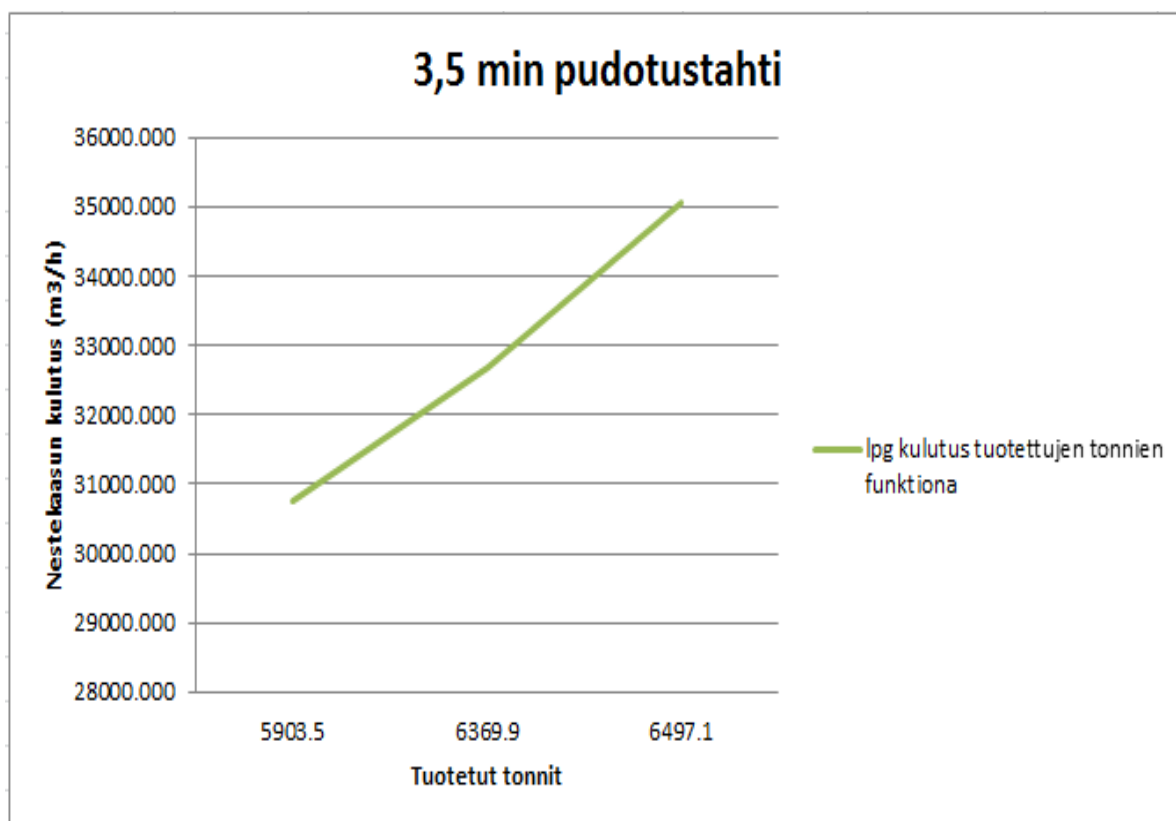
Tuntikohtainen kaasujen kulutus APU:ssa. Lukuarvot m3/h.

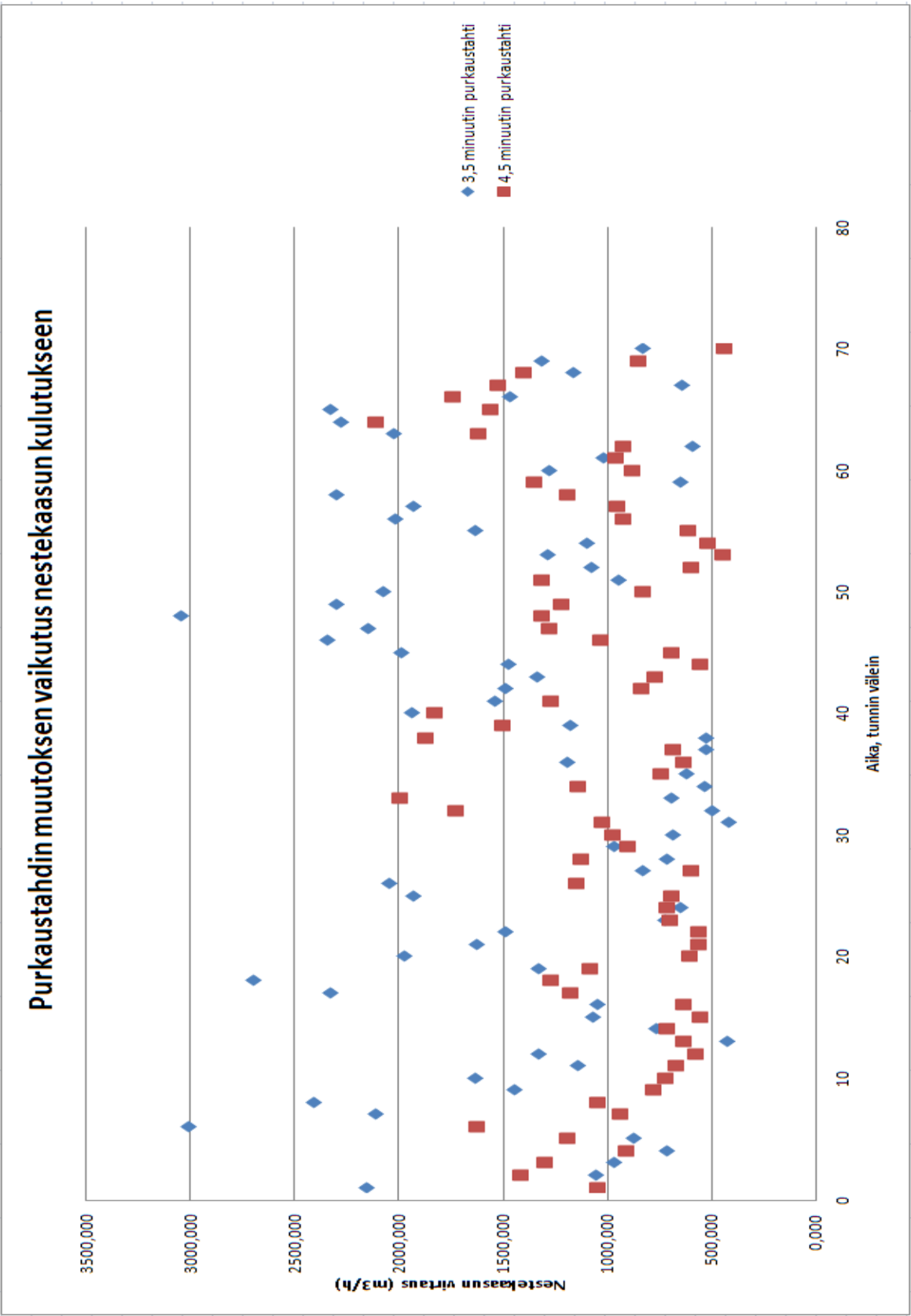
LIITE 6/1

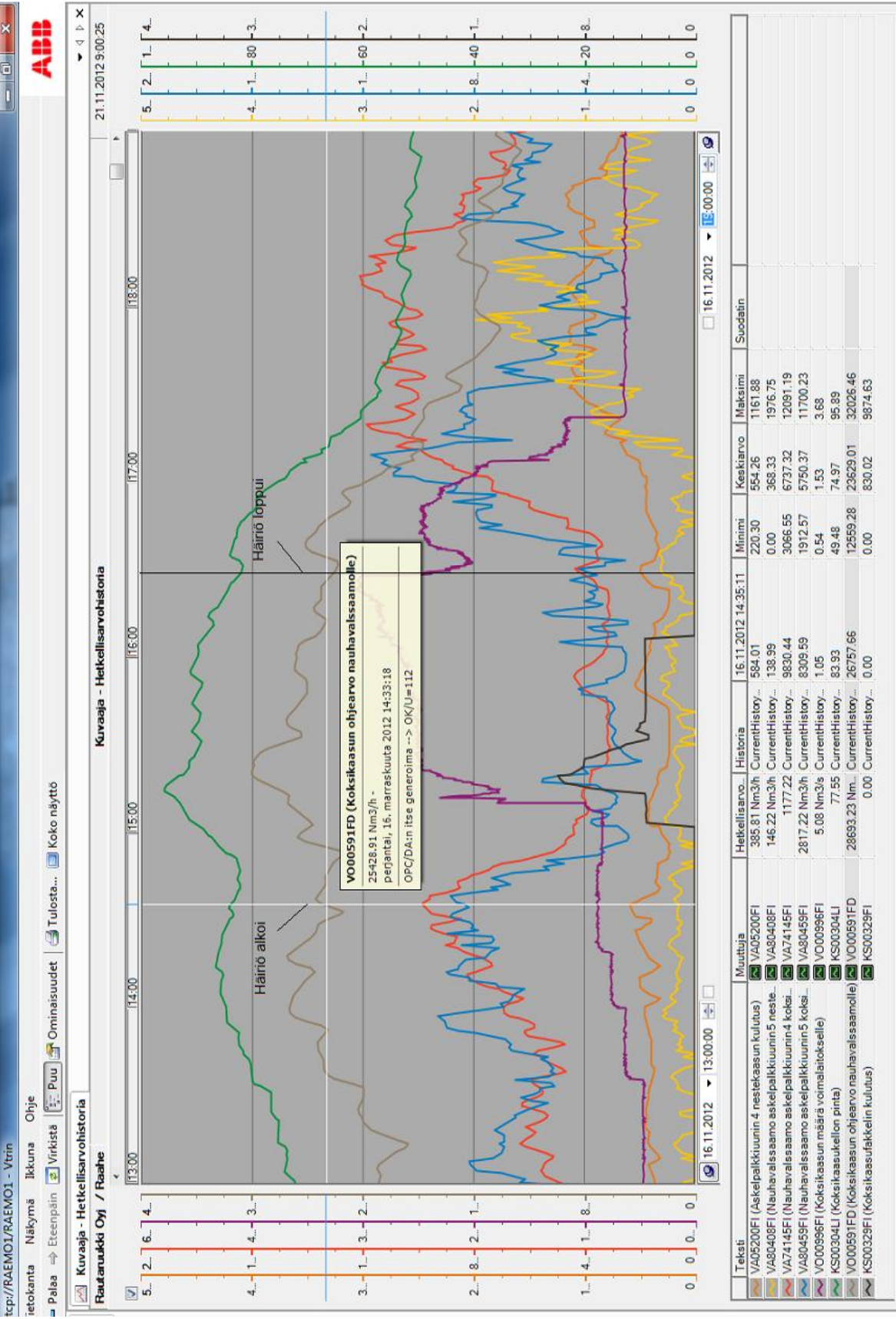
	AP4, lpg	AP4, cog	AP5, lpg	AP5, cog	Yhteensä lpg	Yhteensä cog
15.10.2012 0:00	327.722	2781.557	192.418	1066.547	520.140	3848.104
15.10.2012 1:00	463.278	3950.301	192.992	3437.470	656.270	7387.771
15.10.2012 2:00	796.039	8786.282	294.750	8066.913	1090.789	16853.195
15.10.2012 3:00	760.774	9345.575	998.300	3898.103	1759.074	13243.679
15.10.2012 4:00	561.788	7502.841	570.761	5063.751	1132.549	12566.592
15.10.2012 5:00	906.577	11144.345	1345.573	1840.852	2252.151	12985.197
15.10.2012 6:00	969.971	11405.302	1304.580	4059.257	2274.550	15464.560
15.10.2012 7:00	827.483	8345.985	726.962	8515.803	1554.445	16861.788
15.10.2012 8:00	725.909	8217.628	695.608	7250.534	1421.516	15468.161
15.10.2012 9:00	812.838	11222.614	1079.612	4986.230	1892.450	16208.844
15.10.2012 10:00	710.126	9825.694	963.775	6505.605	1673.901	16331.299
15.10.2012 11:00	892.212	10627.095	996.954	5992.301	1889.166	16619.396
15.10.2012 12:00	440.626	4340.724	209.887	4025.094	650.513	8365.818
15.10.2012 13:00	285.685	3912.300	94.972	2910.888	380.656	6823.187
15.10.2012 14:00	343.412	3470.420	119.159	1932.637	462.570	5403.057
15.10.2012 15:00	440.941	4486.091	156.989	4049.068	597.930	8535.159
15.10.2012 16:00	907.216	12117.148	643.230	6686.749	1550.446	18803.897
15.10.2012 17:00	869.090	11274.717	1573.082	942.102	2442.172	12216.819
15.10.2012 18:00	1883.821	7821.593	1462.841	2279.469	3346.663	10101.062
15.10.2012 19:00	1798.338	5181.156	1086.788	5485.366	2885.126	10666.522
15.10.2012 20:00	1975.371	3881.955	722.581	7885.962	2697.951	11767.917
15.10.2012 21:00	2037.985	5730.758	1069.731	5425.711	3107.716	11156.469
15.10.2012 22:00	1272.819	4635.716	780.994	5991.627	2053.813	10627.343
15.10.2012 23:00	1977.167	4618.961	321.297	9801.641	2298.465	14420.602
16.10.2012 0:00	2493.217	5683.192	652.463	10040.758	3145.680	15723.950
16.10.2012 1:00	1519.887	4980.609	722.799	7330.336	2242.686	12310.945
16.10.2012 2:00	1955.931	3639.048	656.766	8175.343	2612.697	11814.390
16.10.2012 3:00	1715.323	4409.910	955.704	6320.383	2671.027	10730.293
16.10.2012 4:00	1674.763	5387.066	707.172	9355.863	2381.936	14742.930
16.10.2012 5:00	1943.734	4984.241	746.269	8141.156	2690.003	13125.397
16.10.2012 6:00	1204.796	3984.170	682.716	6685.938	1887.512	10670.108
16.10.2012 7:00	1277.465	8590.128	310.719	10122.258	1588.184	18712.387
16.10.2012 8:00	1677.637	5449.614	187.767	13478.489	1865.404	18928.103
16.10.2012 9:00	1627.291	4025.418	251.144	10627.494	1878.435	14652.912
16.10.2012 10:00	1659.330	7478.540	154.725	12123.732	1814.054	19602.272
16.10.2012 11:00	1672.480	7960.482	217.561	13622.746	1890.041	21583.228
16.10.2012 12:00	1802.616	4986.819	243.470	13104.649	2046.087	18091.467
16.10.2012 13:00	1651.623	4157.818	193.572	12651.207	1845.195	16809.025
16.10.2012 14:00	625.475	5641.985	185.395	6506.171	810.869	12148.156
16.10.2012 15:00	810.806	9094.267	251.073	12285.447	1061.880	21379.714
16.10.2012 16:00	727.526	11353.149	553.534	10113.157	1281.060	21466.306
16.10.2012 17:00	1037.851	11036.063	801.038	8334.740	1838.889	19370.804
16.10.2012 18:00	1117.344	12578.691	811.067	8391.769	1928.411	20970.460

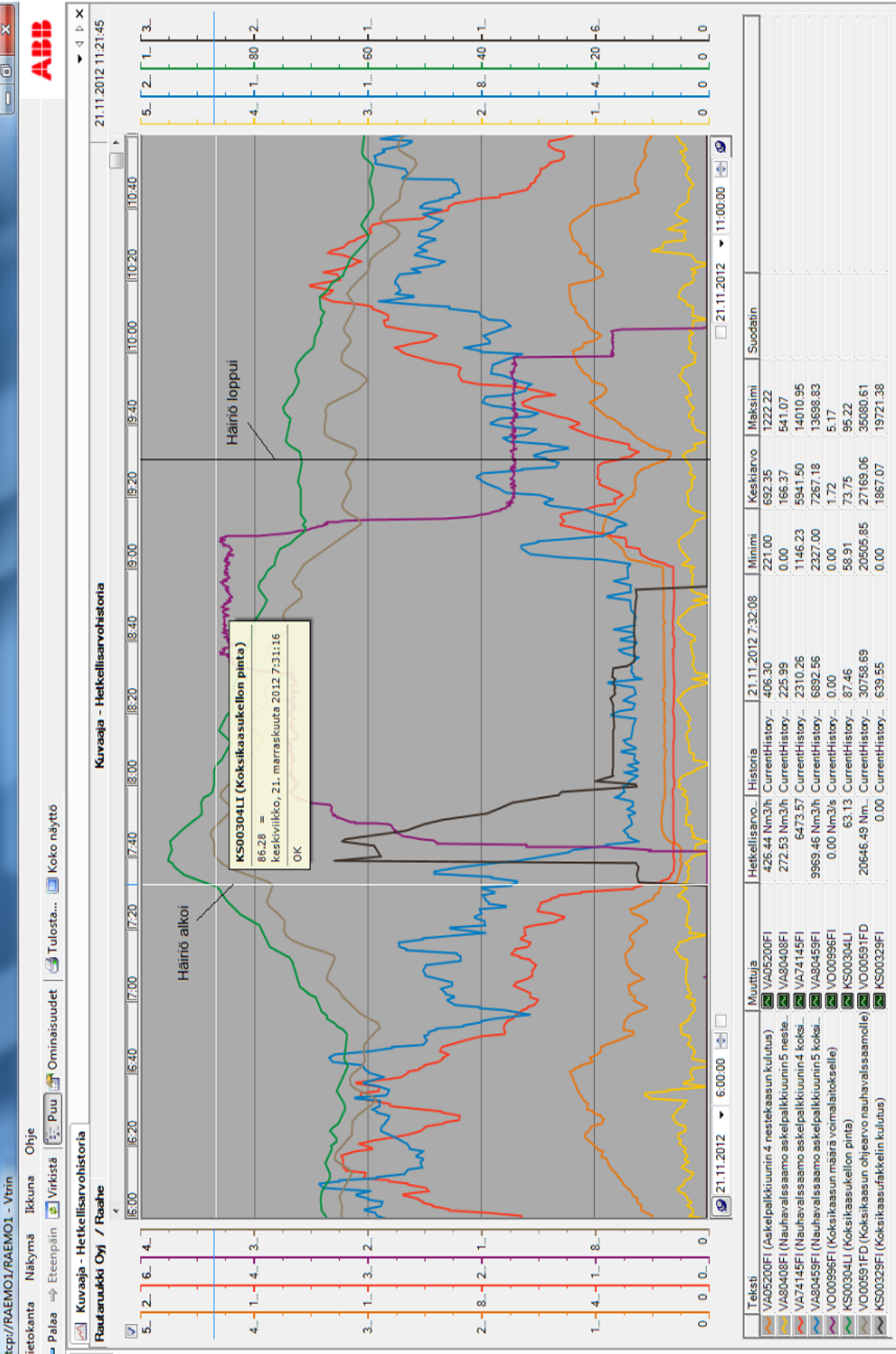












21.11.2012 6:00:00 - 21.11.2012 11:30:00										3600
Time	AP4, jpg	AP5, jpg	AP4, cog	AP5, cog	cog voimalaitokselle	Kokakellon pinta	Koka ohjearvo	Navalle	Koka fakkeliin	
21.11.2012 6:30	1126.501	253.271	11570.163	11687.541	0.000	0.000	64,729	24395.091	0.000	
21.11.2012 6:40	999.726	109.946	9482.486	11867.371	0.000	0.000	63.845	24299.482	0.000	
21.11.2012 6:50	667.440	166.925	6914.971	8370.078	0.000	0.000	66.348	24024.310	0.000	
21.11.2012 7:00	649.684	167.443	6318.822	9418.240	0.000	0.829	71.472	26341.819	0.000	
21.11.2012 7:10	682.401	192.349	6465.162	9535.300	0.000	0.000	76.247	27995.613	0.000	
21.11.2012 7:20	569.159	176.757	5650.619	7941.098	0.000	0.000	82.474	30479.255	0.000	
21.11.2012 7:30	293.065	179.768	1807.085	7811.747	0.000	0.000	91.057	32422.069	4302.845 Häiriö alkoi 7:31	
21.11.2012 7:40	319.440	102.481	1178.540	3518.969	2.245	8080.315	93.849	34843.308	17195.107	
21.11.2012 7:50	384.972	183.698	1176.731	2805.088	4.147	14928.711	88.915	34031.127	9783.897	
21.11.2012 8:00	370.882	137.658	1177.240	2649.971	4.395	15822.477	86.492	32837.798	4982.225	
21.11.2012 8:10	373.262	160.531	1168.223	2730.982	4.401	15843.196	85.200	32000.824	4958.116	
21.11.2012 8:20	377.141	170.243	1173.716	2770.984	4.394	15816.731	83.888	31161.445	4947.989	
21.11.2012 8:30	378.380	113.035	1175.816	2674.175	4.938	17777.795	81.899	30231.871	4212.595	
21.11.2012 8:40	381.152	185.748	1183.199	2714.875	5.109	18393.982	79.821	29855.018	3839.612	
21.11.2012 8:50	383.707	101.239	1169.524	2894.128	5.090	18323.538	78.415	28965.479	1792.030	
21.11.2012 9:00	705.577	205.463	2361.264	4814.326	5.058	18207.020	74.936	27168.444	0.000	
21.11.2012 9:10	833.865	110.446	4398.899	4098.601	2.946	10606.800	71.466	25219.866	0.000	
21.11.2012 9:20	594.319	144.684	3628.147	6928.457	2.052	7387.761	71.889	25338.072	0.000	
21.11.2012 9:30	526.258	101.601	3435.888	6150.233	2.051	7383.476	73.367	25924.240	0.000 Häiriö loppui 9:30	
21.11.2012 9:40	917.207	145.665	5736.144	7086.395	2.047	7369.601	74.005	26355.423	0.000	
21.11.2012 9:50	1075.328	170.756	8930.108	7033.958	1.930	6948.819	72.193	24972.576	0.000	
21.11.2012 10:00	1050.765	129.376	10640.925	7627.371	0.659	2373.539	68.997	25454.283	0.000	
21.11.2012 10:10	1181.450	179.541	12829.825	10155.420	0.000	0.000	67.700	25097.881	0.000	
21.11.2012 10:20	1022.836	182.822	12915.665	10152.448	0.000	0.000	63.231	23705.839	0.000	
21.11.2012 10:30	1164.080	248.996	11269.607	9774.810	0.000	0.000	60.311	22424.228	0.000	
21.11.2012 10:40	705.219	168.293	7053.937	9478.675	0.000	0.000	59.307	21642.448	0.000	
21.11.2012 10:50	553.555	203.718	5397.141	11226.057	0.000	0.000	60.232	21223.757	0.000	
21.11.2012 11:00	437.900	181.220	4404.784	10648.377	0.000	0.000	61.214	21080.748	0.000	
21.11.2012 11:10	418.684	175.520	5861.314	9139.739	0.000	0.000	62.875	20829.898	0.000	
21.11.2012 11:20	431.990	234.975	5875.896	8724.267	0.000	0.000	63.811	20598.655	0.000	

16.11.2012 13:20:00 - 16.11.2012 18:30:00										
Time	AP4, jpg	AP5, jpg	AP4, cog	AP5, cog	cog voimalaitokselle	cog voimalaitokselle	Kokakellon pinta	Koka ohjearvo Navalle	Koka fakkeliin	
16.11.2012 13:30	386.028	134.887	5394.346	5448.601	0.625	2248.590	78.939	25280.451	0.000	
16.11.2012 13:40	388.970	76.694	5276.468	6076.420	0.752	2706.405	81.439	27042.064	0.000	
16.11.2012 13:50	430.907	199.255	6245.145	8527.999	0.751	2702.997	83.848	27840.374	0.000	
16.11.2012 14:00	426.005	183.521	6995.083	6871.483	0.886	3188.325	85.415	28810.970	0.000	
16.11.2012 14:10	399.824	146.098	7823.088	8210.529	0.908	3269.275	86.071	28504.654	0.000	
16.11.2012 14:20	480.929	171.586	8974.768	7843.054	1.044	3758.534	85.251	27781.021	0.000	
16.11.2012 14:30	494.537	150.656	9391.048	8531.037	1.050	3779.212	83.482	26554.393	0.000	Häiriö alkoi 14:34
16.11.2012 14:40	332.962	147.544	7999.760	6484.398	1.048	3774.470	82.343	26612.197	0.000	
16.11.2012 14:50	248.565	52.879	5089.683	3333.046	1.001	3603.691	85.419	26820.750	0.000	
16.11.2012 15:00	384.319	200.157	4122.368	3166.329	1.037	3734.089	90.931	28364.342	2463.176	
16.11.2012 15:10	360.933	146.924	3903.643	3714.911	2.313	8327.114	94.482	30321.348	6460.316	
16.11.2012 15:20	252.463	147.770	3290.106	2923.228	2.957	10643.778	90.938	31609.385	7449.485	
16.11.2012 15:30	229.370	76.088	3136.618	2968.532	3.004	10813.216	89.966	29164.693	3882.801	
16.11.2012 15:40	340.262	181.872	3396.257	3335.914	3.028	10900.787	89.957	28560.361	3548.385	
16.11.2012 15:50	482.417	224.106	4059.507	2831.509	3.116	11217.162	90.206	28529.026	3566.194	
16.11.2012 16:00	390.703	225.623	3211.776	3190.570	3.274	11785.485	89.221	28172.635	2534.027	
16.11.2012 16:10	281.369	101.862	3151.671	3827.305	3.413	12287.849	86.890	27071.283	0.000	
16.11.2012 16:20	350.544	173.051	3509.562	3803.743	3.485	12545.641	83.752	26712.806	0.000	Häiriö loppui 16:21
16.11.2012 16:30	376.376	276.796	3631.474	3942.594	2.614	9411.669	82.950	26933.105	0.000	
16.11.2012 16:40	375.274	85.832	4345.980	7011.829	2.937	10573.654	82.096	27061.852	0.000	
16.11.2012 16:50	434.662	103.656	6544.216	8067.984	2.800	10079.241	78.399	25060.409	0.000	
16.11.2012 17:00	492.546	37.451	8516.882	10811.336	2.213	7968.154	72.118	21909.756	0.000	
16.11.2012 17:10	705.582	474.251	10671.597	8840.352	1.439	5180.334	65.275	20014.563	0.000	
16.11.2012 17:20	844.864	771.302	10422.528	8202.297	0.908	3268.719	59.692	19288.967	0.000	
16.11.2012 17:30	1082.435	863.007	10323.754	6728.204	0.757	2725.261	57.202	17374.122	0.000	
16.11.2012 17:40	1037.383	1223.335	10549.660	5493.364	0.752	2705.570	54.769	15482.752	0.000	
16.11.2012 17:50	1027.671	1607.199	10405.832	3541.514	0.750	2700.953	53.427	14831.463	0.000	
16.11.2012 18:00	1096.036	1149.967	11359.719	4485.382	0.748	2694.280	52.535	15591.767	0.000	
16.11.2012 18:10	932.333	1499.726	11350.751	3539.351	0.758	2728.726	52.742	16011.456	0.000	
16.11.2012 18:20	952.173	579.046	9979.630	5710.179	0.753	2709.045	52.285	16546.008	0.000	

